

## 明細書

## 連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法及び検知装置並びに連続鋳造鋳片の製造方法

## 技術分野

本発明は、連続鋳造機で鋳造されている連続鋳造鋳片の凝固完了位置をオンラインで検知する方法及び装置並びに連続鋳造鋳片の製造方法に関するものである。

## 背景技術

鋼の連続鋳造においては、連続鋳造鋳片の凝固完了位置（「クレータエンド位置」ともいう）が鋳片のどの位置にあるかを判定することが、極めて重要である。凝固完了位置を検知することが、鋳片の生産性や品質の向上に大きく貢献するためである。

例えば、生産性を向上させるために鋳造速度を上昇させると、凝固完了位置は鋳片の鋳造方向下流側に移動する。凝固完了位置が鋳片支持ロールの範囲を超えてしまうと、鋳片が静鉄圧の作用によって膨らみ（以下、「バルジング」と記す）、内質の悪化や巨大バルジングの場合には鋳造停止といった問題が発生する。従って、凝固完了位置が明確に分からない場合には、鋳造速度をむやみに増速することはできない。

また、鋳片の中心偏析を低減して高品質化を図るための軽圧下操業では、凝固完了位置を軽圧下帯に位置させるように鋳造速度や二次冷却水強度を制御する必要がある。更に、スラブ鋳片においては、その断面が扁平形状であるため、凝固完了位置は鋳片の幅方向で均一ではなく、且つ、時間によってその形状が変動することが知られている。この幅方向で異なる凝固完了位置の形状も、鋳片の品質や生産性を決める大きな要因となっている。

これらの要求に応えるには、鋳片の凝固状態を把握する必要があり、従って、鋳片の凝固状態を判定するための種々の方法が提案されている。

現在、一般的に実用されている方法は、鋳片の凝固過程における伝熱計算を行い、鋳片の中心部の温度が固相線となる位置を凝固完了位置として推定する方法である（例えば、特許文献 1 参照）。

また、オンラインで凝固完了位置を直接計測する方法も試みられており、例えば特許文献 2 には、電磁超音波の送信器及び受信器によって縦波の超音波を鋳片に伝播させ、鋳片

5を透過する縦波の伝播時間、鋳片の厚み、及び、予め計測して求めた固相域及び液相域での縦波の伝播速度に基づき、下記の(1)式を用いて固相及び液相の厚みを求める方法が開示されている。但し、(1)式において、 $d$ は固相厚み、 $t$ は伝播時間、 $D$ は鋳片厚み、 $V_l$ は液相中における縦波の平均伝播速度、 $V_s$ は固相中における縦波の平均伝播速度である。

$$d = \frac{\left(t - \frac{D}{V_l}\right)}{2 \times \left(\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_l}\right)} \quad \Lambda (1)$$

特許文献3には、このようにして求めた固相厚み(=凝固シェル厚み)と、鋳造長手方向の距離と固相厚みの変化量との相関関係と、に基づいて凝固完了位置を推定する方法が開示されており、また、特許文献4には、固相における縦波の伝播速度が温度依存性を持つことを考慮し、固相の温度分布から伝播速度の平均値を求め、この平均値を使用することによって固相厚みを精度良く求める方法が開示されている。

更に、電磁超音波の送信器及び受信器によって超音波の横波を鋳片に伝播させ、横波が液相を伝播しない性質を利用して、電磁超音波の送信器及び受信器の設置位置に凝固完了位置が到達したのか、或いは到達していないのかを判定する方法も提案されている(例えば、特許文献5及び特許文献6参照)。

特許文献1： 特開平5-123842号公報

特許文献2： 特開昭55-158506号公報

特許文献3： 特開昭57-32863号公報

特許文献4： 特開平2-55909号公報

特許文献5： 特開昭63-313643号公報

特許文献6： 特開2002-14083号公報

#### 発明の開示

しかしながら、これらの方法では次のような問題が残されている。

伝熱計算を行う方法では、計算に用いる物性値は鋼種によって異なるが、全ての鋼種の物性値が全ての温度範囲で知られている訳ではない。そのため、物性値の合わせ込みが必要になる。このために、例えば、鋳造中の鋳片に金属製の鋳を打ち込み、冷却後に鋳の打ち込み部分を切断・研磨し、鋳がどの程度溶融したかを測定することによって固相厚みを把握し、この結果と照らし合わせて伝熱計算の合わせ込みを実施する必要がある。この作業は、非常に手間やコストを費やし、全ての鋼種で鋳の打ち込みを行うことは現実的には不可能である。そのため、伝熱計算を行う方法では、適用範囲に制約があり、高い精度が得られないといった問題がある。

超音波の縦波を用いる方法では、固相及び液相における縦波の伝播速度を用いて固相厚みを算出しているが、この伝播速度が鋼種によって異なっている。この伝播速度も全ての鋼種で知られている訳ではないため、伝播時間から得られた測定値を校正するために、鋳片への鋳打ち込みなどが必要になる。従って、全ての鋼種について校正を行うことは、伝熱計算による方法と同様に、現実的には不可能である。また、固相厚みを計算する際には鋳片厚みを把握する必要があるが、未凝固層を有する鋳片はパルジングするため、鋳造中の鋳片の厚みを精度良く安定して測定することも難しく、測定精度を低下させる一因となっている。

超音波の横波を用いる方法では、通常、横波が液相を透過しないことを利用して凝固完了位置が電磁超音波の送信器及び受信器を設置した位置に到達しているか否かを判定するだけであるので、一对の送信器及び受信器を設置しただけでは凝固完了位置を知ることができず、凝固完了位置を知るためには鋳造方向に多数の送信器及び受信器を設置しなければならない。また、前述した特許文献5、6には、鋳片を透過する横波の伝播時間を用いることにより、送信器及び受信器を設置した位置よりも上流側の凝固完了位置を推定することが可能であることが示されているが、凝固完了位置が送信器及び受信器を設置した位置よりも下流側である場合には、横波を用いた方法では透過信号が得られなくなるため、凝固完了位置を検知することは不可能となる。

本発明は上記の問題点を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、鋳片への鋳の打ち込みによる校正を必要とせず、センサーによる計測値のみから凝固完了位置を精度良く検知することの可能な、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法及び検知装置を提供することと同時に、この凝固完了位置検知方法及び検知装置から得られる凝固

完了位置の情報を利用して生産性または品質を高めることを可能とする連続鋳造鋳片の製造方法を提供することである。

本発明者等は、上記課題を解決すべく鋭意検討・研究を行った。以下に検討・研究結果を説明する。

連続鋳造鋳片における縦波超音波の伝播時間から固相厚みを推定する方法に関して伝播時間のシミュレーションを重ねた結果、前述した(1)式においては、縦波超音波の伝播速度の鋼種による依存性や鋳片厚みの影響が大きく、これらの校正を行わないと精度良く測定することはできないことが分かった。但し、凝固完了位置が縦波超音波センサーよりも鋳造方向の下流側に存在して、超音波の伝播経路に液相が含まれる場合には、液相における伝播速度が固相における伝播速度に比べて遅いため、縦波超音波センサーによって測定される伝播時間は固相厚みに応じて感度良く変化し、固相厚みの測定値及びこの固相厚みから導かれる凝固完了位置の相対的な測定精度は極めて高いことが分かった。

同様に、伝熱計算により凝固完了位置を求める方法に関して検討を重ねた結果、種々の鋳造条件及び種々の鋼種において精度良く凝固完了位置を求めようとした場合には、計算に用いる物性値の校正を行わない限り、精度良く凝固完了位置を求めることができないことが分かった。

縦波超音波の伝播時間から固相厚みを推定する際に用いる物性値、並びに、伝熱計算に用いる物性値をオンラインで校正する方法として、横波が液相を透過しないことにより求められる凝固完了位置を利用して校正することを検討した。そこで、内部がまだ未凝固の状態の小型鋼塊を用い、それを冷却しながら鋼塊に横波超音波を透過させると同時に鋼塊軸心部を熱電対で測温する試験を行った。その結果、横波超音波が鋼塊を透過しなくなる時点は、鋼種に依存することなく、鋼塊中心部の固相率が1となる時点即ち凝固が完了する時点(軸心温度＝固相線)であることが分かった。この性質に基づくことで、横波超音波センサーによる透過信号が検出状態から消失した時点、或いは、消失状態から出現した時点は、鋼種や鋳造条件に拘わらず、凝固完了位置と横波超音波センサーの配置位置とが一致するという絶対値計測ができるとの知見が得られた。

従って、凝固完了位置を横波超音波センサーの配置位置とした条件下において、(1)式などの凝固完了位置を算出する計算式を校正すること、或いは、伝熱計算に用いる物性値を校正することにより、相対的な測定精度に優れている、縦波超音波を用いた凝固完了

位置の推定方法、並びに、伝熱計算によって凝固完了位置を推定する方法を、絶対的な精度にも優れた検知手段として使用可能であるとの知見が得られた。また、この方法によれば、横波超音波のみを用いた際には凝固完了位置が横波超音波センサーよりも鑄造方向の下流側となる鑄造条件下では凝固完了位置を測定できなくなるという問題も解消されることが分かった。

具体的には、縦波超音波センサーで測定された伝播時間から算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置になるように物性値を決めてやれば、伝播時間により凝固完了位置を求める計算式は校正されることになる。同様に、凝固完了位置を横波超音波センサーの配置位置とした鑄造条件において伝熱計算を行い、伝熱計算による凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置になるように物性値を決めてやれば、伝熱計算式は校正されることになる。以後、このようにして校正された伝播時間から凝固完了位置を求める計算式或いは伝熱計算式を用いることで、例えば鑄造速度を更に高くするなど、鑄造条件を変更したときの凝固完了位置を精度良く求めることができることが分かった。

ここで、縦波超音波センサーによって測定される伝播時間から凝固完了位置を推定する場合、第1の校正点となる横波超音波センサーの鑄造方向の下流側に第2の横波超音波センサーを配置し、第2の横波超音波センサーの位置を凝固完了位置とした鑄造条件下においても、(1)式などの凝固完了位置を算出する計算式を校正することにより、凝固完了位置の測定精度が大幅に向上することが分かった。

また、凝固完了位置が縦波超音波センサーよりも鑄造方向の下流側に在って、縦波超音波の伝播経路に液相が含まれている場合には、液相における伝播速度が固相における伝播速度よりもはるかに遅く、伝播時間は固相厚みに応じて感度良く変化するが、凝固完了位置が縦波超音波センサーよりも鑄造方向の上流側に在って、縦波超音波の伝播経路に液相が含まれない場合には、鑄造条件が変化しても、伝播時間はそれに応じて感度良くは変化しない。そのため、凝固完了位置の測定精度を向上させるには、凝固完了位置が縦波超音波センサーの配置された位置よりも上流側の場合と下流側の場合とで、凝固完了位置を算出する計算式として異なる計算式を用いることが好ましいことが判明した。

更に、鑄片を支持しているロールとロールとの狭い間隙に横波超音波センサー及び縦波超音波センサーを配置するためには、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを一体化することが望ましい。従って、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを一体化す

べく検討した結果、鋳片の幅方向に3つ以上の磁極を有し、内側の磁極の周囲を巻くように配置した縦波用コイルと、磁極面に重なるように配置した横波用コイルとを有する一体構造のセンサーを構成することにより、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを一体化することが可能であることが分かった。

一方、伝熱計算によって凝固完了位置を求める場合には、上記の横波超音波センサーと同じか、或いは別に、縦波或いは横波の伝播時間を測定する伝播時間測定用センサーを設置して様々な鋳造条件における伝播時間の測定値を求め、同時に、校正された伝熱計算式によって凝固完了位置を求め、求めた凝固完了位置と伝播時間の測定値との関係式或いはテーブルを作成し、作成した関係式或いはテーブルを利用することで、その都度伝熱計算を行わなくても、伝播時間の測定値から凝固完了位置を精度良く求めることができるとの知見が得られた。

本発明は、上記検討結果に基づいてなされたものであり、第1の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法は、連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する横波超音波センサーと、連続鋳造鋳片に対して縦波超音波を送信し且つ送信した縦波超音波を受信する縦波超音波センサーと、を連続鋳造機の同一位置または鋳造方向に離れた2箇所の鋳片幅方向の同一位置に配置し、横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鋳片の凝固完了位置が横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における縦波超音波の伝播時間から算出した凝固完了位置が横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求める計算式を校正し、校正後は、校正した計算式に基づき、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求めることを特徴とするものである。

第2の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法は、第1の発明において、更に、前記横波超音波センサーの鋳造方向下流側の鋳片幅方向の同一位置に第2の横波超音波センサーを配置し、第2の横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鋳片の凝固完了位置が第2の横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における縦波超音波の伝播時間から算出した凝固完了位置が第2の横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求める計算式を更に校正することを特徴とするものである。

第3の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法は、第1または第2の発明にお

いて、前記縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求める計算式は、凝固完了位置が縦波超音波センサーの配置された位置よりも鑄造方向上流側の場合と下流側の場合とで、異なる計算式であることを特徴とするものである。

第4の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法は、連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する横波超音波センサーを連続鑄造機に配置し、横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鑄片の凝固完了位置が横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における鑄造条件を用いた伝熱計算によって算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、伝熱計算で用いる物性値を校正し、校正後は、校正した物性値を用いて各々の鑄造条件における凝固完了位置を伝熱計算によって求めることを特徴とするものである。

第5の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法は、連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する横波超音波センサーを連続鑄造機に配置し、横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鑄片の凝固完了位置が横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における鑄造条件を用いた伝熱計算によって算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、伝熱計算で用いる物性値を校正し、次いで、種々の鑄造条件において、校正した物性値を用いて伝熱計算によって凝固完了位置を求めるとともに前記横波超音波センサーによって伝播時間を測定し、伝熱計算によって求めた凝固完了位置と横波超音波センサーによって測定した伝播時間との関係を求め、該関係に基づき、横波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置を求めることを特徴とするものである。

第6の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法は、連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する第1の横波超音波センサーと、連続鑄造鑄片に対して縦波超音波を送信し且つ送信した縦波超音波を受信する縦波超音波センサーか、または、横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する第2の横波超音波センサーのうちの少なくとも1つと、を連続鑄造機に配置し、第1の横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鑄片の凝固完了位置が第1の横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における鑄造条件を用いた伝熱計算によって算出される凝固完了位置が第1の横波超音波センサーの配置された位置と合致するよう

に、伝熱計算で用いる物性値を校正し、次いで、種々の鑄造条件において、校正した物性値を用いて伝熱計算によって凝固完了位置を求めるとともに前記縦波超音波センサーまたは第2の横波超音波センサーによって伝播時間を測定し、伝熱計算によって求めた凝固完了位置と縦波超音波センサーまたは第2の横波超音波センサーによって測定した伝播時間との関係を求め、該関係に基づき、縦波超音波センサーまたは第2の横波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置を求めることを特徴とするものである。

第7の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法は、第1ないし第3の発明の何れか1つに記載された方法によって校正された計算式を用い、前記校正を実施した連続鑄造機と同一若しくは異なる別の連続鑄造機に配置された縦波超音波センサーによる縦波超音波の伝播時間から、該連続鑄造機における凝固完了位置を求めることを特徴とするものである。

第8の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法は、第4の発明に記載された方法によって校正された物性値と、前記校正を実施した連続鑄造機と同一若しくは異なる別の連続鑄造機の鑄造条件とを用いて伝熱計算して、該連続鑄造機における凝固完了位置を求めることを特徴とするものである。

第9の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法は、第5または第6の発明に記載された方法によって求められた、伝熱計算から求めた凝固完了位置と超音波センサーによって測定した伝播時間との関係に基づき、該関係を求めた連続鑄造機と同一若しくは異なる別の連続鑄造機に配置された横波超音波センサー或いは縦波超音波センサーによる超音波の伝播時間から、該連続鑄造機における凝固完了位置を求めることを特徴とするものである。

第10の発明に係る連続鑄造鑄片の製造方法は、第1ないし第6の発明の何れか1つに記載の連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法によって鑄片の凝固完了位置を判定し、該判定結果に基づき、鑄造速度または鑄片の二次冷却強度を調整することを特徴とするものである。

第11の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知装置は、連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、該横波超音波センサーの配置位置と連続鑄造機の同一位置または鑄造方向に離れた鑄片幅方向の同一位置に設置された、連続鑄造鑄片に対して縦波超音波を

送信する縦波送信器と送信した縦波超音波を受信する縦波受信器とからなる縦波超音波センサーと、該縦波超音波センサーで受信した受信信号に基づき計算式を用いて鋳片の凝固完了位置を求める凝固完了位置演算部と、を備えた連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記計算式により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように前記計算式は校正されることを特徴とするものである。

第12の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置は、第11の発明において、更に、前記横波超音波センサーの鋳造方向下流側の鋳片幅方向の同一位置に第2の横波超音波センサーが配置され、第2の横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって第2の横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記計算式により算出される凝固完了位置が第2の横波超音波センサーの配置位置と合致するように前記計算式は更に校正されることを特徴とするものである。

第13の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置は、第11または第12の発明において、前記横波送信器及び縦波送信器は鋳片を挟んで一方側に配置され、前記横波受信器及び縦波受信器は鋳片を挟んでその反対側に配置されており、横波送信器と縦波送信器、及び、横波受信器と縦波受信器とは、鋳片の幅方向に3つ以上の磁極を有し、内側の磁極の周囲を巻くように配置した縦波用コイルと、磁極面に重なるように配置した横波用コイルと、を有する一体構造の電磁超音波センサーで構成されていることを特徴とするものである。

第14の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置は、連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、鋳造条件及び物性値に基づいて伝熱計算を行って鋳片の凝固完了位置を求める伝熱計算部と、を備えた連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記伝熱計算部により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように伝熱計算に使用される物性値が校正されることを特徴とするものである。

第15の発明に係る連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置は、連続鋳造鋳片に対して横

波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、鑄造条件及び物性値に基づいて伝熱計算を行って鑄片の凝固完了位置を求める伝熱計算部と、前記横波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係を用いて鑄片の凝固完了位置を求める凝固完了位置推定部と、を備えた連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鑄片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記伝熱計算部により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように伝熱計算に使用される物性値が校正され、該物性値の校正後、前記凝固完了位置推定部において横波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係が定められ、該関係に基づき、横波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置が求められることを特徴とするものである。

第16の発明に係る連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知装置は、連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、連続鑄造鑄片に対して縦波超音波を送信する縦波送信器と送信した縦波超音波を受信する縦波受信器とからなる縦波超音波センサーと、鑄造条件及び物性値に基づいて伝熱計算を行って鑄片の凝固完了位置を求める伝熱計算部と、前記縦波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係を用いて鑄片の凝固完了位置を求める凝固完了位置推定部と、を備えた連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鑄片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記伝熱計算部により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように伝熱計算に使用される物性値が校正され、該物性値の校正後、前記凝固完了位置推定部において縦波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係が定められ、該関係に基づき、縦波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置が求められることを特徴とするものである。

尚、本発明における鑄片幅方向の同一位置とは、凝固完了位置の鑄造方向の変化がほとんど無いと見なせる範囲内を意味するものとする。スラブ連続鑄造機では、凝固完了位置が鑄片の幅方向で異なる場合もあるので、伝熱計算を行わずに縦波超音波の伝播時間から

凝固完了位置を直接求める場合には、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとで検出する凝固完了位置が同一であるか、或いは、凝固完了位置に鑄造方向の変化が生じたとしても変化の差がほとんど無いと見なせる幅方向の範囲内に横波超音波センサー及び縦波超音波センサーを配置する必要がある。具体的には、凝固完了位置の鑄片幅方向の形状を平坦と見なせる場合には、数100mm離れていてもよく、逆に、凝固完了位置の鑄片幅方向の形状が大きく変化している場合には、数10mm以内とする必要がある。これは、この目的に用いられる超音波の波長が数10mmであり、且つセンサーの大きさが数10mm程度であることから、回折の影響も考慮すると、数10mm以内であれば同一位置と見なすことができるからである。また、連続鑄造機の同一位置とは、鑄片幅方向が同一位置であるのみならず、鑄造方向にも同一位置であるという意味である。鑄造方向に同一位置とは、センサーを配置する鑄片支持ロール間隙の位置が同一であるという意味である。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態例を示す図である。

図2は、縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するための電磁超音波センサーの構成と動作を示す図である。

図3は、横波透過強度検出部の動作を示す図である。

図4は、凝固完了位置到達検出部の動作の1例を示す図である。

図5は、縦波伝播時間検出部の動作を示す図である。

図6は、第1の実施の形態例における凝固完了位置演算部の動作を示す図である。

図7は、縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するための電磁超音波センサーの磁極を4つとした構成を示す図である。

図8は、本発明の第2の実施の形態例を示す図である。

図9は、本発明の第3の実施の形態例を示す図である。

図10は、第3の実施の形態例における凝固完了位置演算部の動作を示す図である。

図11は、本発明の第4の実施の形態例を示す図である。

図12は、凝固完了位置到達検出部の動作の他の1例を示す図である。

図13は、伝熱計算で使用する熱伝導率を変化させたときの凝固完了位置の挙動を示す図である。

図 1 4 は、伝熱計算による凝固完了位置と、鋳打ち込みによって確認した凝固完了位置とを比較して示す図である。

図 1 5 は、本発明の第 5 の実施の形態例を示す図である。

図 1 6 は、凝固完了位置推定部の処理機能の例を示す図である。

図 1 7 は、本発明の第 6 の実施の形態例を示す図である。

図 1 から図 1 7 の中で使用されている符号の意味は以下の通りである。

1 鋳片、 2 固相部、 3 液相部、 4 凝固完了位置、 5 超音波送信部、  
6 横波超音波送信器、 7 縦波超音波送信器、 8 横波超音波受信器、 9 縦波  
超音波受信器、 10 横波透過強度検出部、 11 凝固完了位置到達検出部、 12  
縦波伝播時間検出部、 13 凝固完了位置演算部、 14 物性値記憶部、 15 伝  
熱計算部、 16 凝固完了位置推定部、 17 横波伝播時間検出部、 20 溶鋼湯  
面、 31 磁石、 32 縦波用コイル、 33 横波用コイル、 34 磁力線、  
35 渦電流、 36 渦電流、 37 縦波超音波、 38 横波超音波、 101  
鋳型、 102 鋳片支持ロール、 103 搬送用ロール、 104 鋳片切断機。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照して本発明を具体的に説明する。まず、縦波超音波センサーで測定される縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を直接検出する方法及び装置について説明する。図 1 は、縦波超音波センサーで測定される縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を検出する方法及び装置に関する本発明の第 1 の実施の形態例を示す図であって、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを連続鋳造機の同一位置に配置した、本発明に係る凝固完了位置検知装置を備えたスラブ連続鋳造機の概略図である。

図 1 において、1 は鋳片、2 は固相部、3 は液相部、4 は凝固完了位置であり、連続鋳造機の鋳型 101 に注入された溶鋼は、鋳型 101 によって冷却されて鋳型 101 と接触する部位に凝固部 2 を形成し、周囲を凝固部 2 とし、内部を未凝固の液相部 3 とする鋳片 1 は、鋳型 101 の下方に対向して配置された複数対の鋳片支持ロール 102 に支持されつつ鋳型 101 の下方に引き抜かれる。鋳造方向に隣合う鋳片支持ロール 102 の間隙には、鋳片 1 の表面に向けて冷却水を吹き付けるエアームストスプレーノズルや水スプレーノズルなどからなる二次冷却帯（図示せず）が設置されており、鋳片 1 は鋳造方向下流側

に引き抜かれながら二次冷却帯で冷却され、中心部まで完全に凝固する。この中心部まで完全に凝固した位置が凝固完了位置 4 である。凝固が完了した鋳片 1 は、鋳片支持ロール 102 の下流側に設置された鋳片切断機 104 で所定の長さに切断され、鋳片 1A として搬送用ロール 103 によって搬出される。

このような構成のスラブ連続鑄造機において、本発明に係る凝固完了位置検知装置が配置されている。本発明に係る凝固完了位置検知装置は、鋳片 1 を挟んで対向配置させた横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 からなる横波超音波センサーと、鋳片 1 を挟んで対向配置させた縦波超音波送信器 7 及び縦波超音波受信器 9 からなる縦波超音波センサーと、横波超音波送信器 6 及び縦波超音波送信器 7 へ電気信号を与えて鋳片 1 に超音波を送出するための電気回路である超音波送信部 5 と、横波超音波受信器 8 及び縦波超音波受信器 9 にて受信した受信信号を処理するための横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検出部 11、縦波伝播時間検出部 12 及び凝固完了位置演算部 13 と、を備えている。横波超音波送信器 6 及び縦波超音波送信器 7 にて送出された超音波は鋳片 1 を透過し、横波超音波受信器 8 及び縦波超音波受信器 9 でそれぞれ受信され、電気信号に変換される。

横波透過強度検出部 10 は、横波超音波受信器 8 により受信された横波超音波信号の強度を検出する装置で、凝固完了位置到達検出部 11 は、横波透過強度検出部 10 にて検出された横波超音波の透過信号の変化から、凝固完了位置 4 が横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 の配置位置よりも鑄造方向の上流側か、或いは下流側かを判定する装置である。また、縦波伝播時間検出部 12 は、縦波超音波受信器 9 にて受信した受信信号から鋳片 1 を透過する縦波超音波の伝播時間を検出する装置であり、凝固完了位置演算部 13 は、縦波伝播時間検出部 12 で検出された縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置 4 を演算して求める装置である。ここで、横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検出部 11、縦波伝播時間検出部 12 及び凝固完了位置演算部 13 は、計算機にて演算される。尚、横波超音波受信器 8 及び縦波超音波受信器 9 とこの計算機との間には、超音波信号増幅器や波形を計算機に取り込むための A/D 変換器などが必要であるが、図中では省略している。また、図 1 に示す凝固完了位置検知装置においては、横波超音波送信器 6 と縦波超音波送信器 7 とが一体的に構成され、同様に、横波超音波受信器 8 と縦波超音波受信器 9 とが一体的に構成されている。

横波超音波送信器 6 と縦波超音波送信器 7、並びに、横波超音波受信器 8 と縦波超音波

受信器 9 とが一体的に構成される例を、図 2 を参照して説明する。図 2 は、縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するための電磁超音波センサーの構成と動作について説明する図である。

図 2 において 3 1 は磁石である。これは永久磁石でも電磁石でもどちらでも構わないが、永久磁石の方が電磁超音波センサーを小型化することができることから好ましい。3 2 は、縦波用コイルであり、内側の磁極の周囲を巻くように配置したパンケーキコイルである。一方、3 3 は、横波用コイルであり、磁極面と重なるように配置したパンケーキコイルである。3 4 は、磁石 3 1 からの磁力線を示したものである。3 5 及び 3 6 は、それぞれ縦波用コイル 3 2 及び横波用コイル 3 3 から鋳片 1 に生ずる渦電流を示したものであり、渦電流 3 5 及び渦電流 3 6 は、超音波送信部 5 から縦波用コイル 3 2 及び横波用コイル 3 3 に高周波電流が流されることによって発生する。

鋳片 1 に生じた渦電流 3 5 及び渦電流 3 6 は、磁力線 3 4 で示される磁石 3 1 からの静磁場との間にローレンツ力を発生させ、これによって縦波超音波 3 7 及び横波超音波 3 8 が発生する。超音波の受信については送信の逆作用であり、静磁場中の鋳片 1 が超音波によって振動することにより、鋳片 1 に渦電流が生じることを縦波用コイル 3 2 及び横波用コイル 3 3 で検知するものであり、送信と全く同じ構成を用いることができる。

連続鋳造機の隣り合う鋳片支持ロール間の間隙で、同一位置に縦波と横波とを発生・検出するためには、狭いロール間の間隙（一般に 40～75 mm）に挿入可能な小型の電磁超音波センサーが必要である。電磁超音波センサーはよく知られているが、従来、この目的に見合った、縦波超音波と横波超音波とを同一箇所が発生・検出できる小型の電磁超音波センサーは提案されていない。本発明では、図 2 に示すように、鋳片 1 の幅方向に磁石 3 2 を並べる構成としたことで、磁極を 3 つまたは 3 つ以上設けることが可能となり、鋳片支持ロール 1 0 2 の狭い間隙に電磁超音波センサーを挿入することが可能となった上に、縦波超音波と横波超音波とを同一箇所が発生・検出することが可能となった。また、センサーの設置数が減ることにより、設置コストの削減のみならず保守点検のコストも削減することができる。

この電磁超音波センサーの具体的な形状としては、磁極の面積は 10 mm×10 mm～30 mm×30 mm 程度の範囲が望ましく、磁極の間隔は 5 mm～30 mm 程度の範囲が適当であり、磁極間の水平磁場が 0.1 T 以上となる磁力を有することが適当である。磁

石 3 1 として永久磁石を用いる場合には、希土類系磁石を用いることが望ましく、高さは 20 mm ~ 100 mm 程度あればよい。コイルの巻き数は 10 ターン ~ 100 ターン程度の範囲が適当である。また、鑄造方向でコイルが磁極からはみ出る部分については、コイルを折り曲げることによって鑄造方向のセンサー幅を狭くすることができるが、磁極から直ちに折り曲げると、鑄造方向へ向かう水平磁場を有効に活用することができなくなり、感度が低下するため、磁極から 5 mm 程度はみ出してから折り曲げるとよい。はみ出す幅は、3 mm 程度では感度低下を防止する効果が少なく、10 mm 以上ではセンサーの鑄造方向の幅を狭くする上では余り意味がないため、従って、3 mm ~ 10 mm 程度が適当である。

このような電磁超音波センサーを用いる場合、電気回路に要求される仕様としては、送信信号の電圧はおよそ 1 kV 以上（電流では 20 A 以上）、受信アンプのゲインは 60 dB ~ 80 dB 以上あれば発生・検出が可能であり、送信信号の周波数は、横波用は 50 kHz ~ 150 kHz、縦波用は 100 kHz ~ 400 kHz 程度の範囲が適当である。送信信号波形としては、正弦波を短時間発生させたトーンバースト波や、所定時間幅内で振幅や位相を変化させたチャープ波などの変調信号の何れでも構わない。

尚、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを連続鑄造機の同一位置に配置する場合、必ずしも縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出させる電磁超音波センサーを使用する必要はなく、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとの配置間隔が、凝固完了位置 4 の鑄造方向の変化がほとんど無いと見なせる範囲内であるならば、具体的には数 10 mm 以内であるならば、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを別々に配置してもよい。

以下、受信した信号の処理方法について説明する。まず、横波透過強度検出部 10 の動作について図 3 を参照して説明する。

図 3 は、横波透過強度検出部 10 の動作を示す図で、送信信号の 1 発分に対応した受信信号波形を示している。図 3 中の最初の波は、送信信号が電氣的に横波超音波受信器 8 に漏れ込んだものであり、2 番目の波が横波超音波の透過信号である。ここで、横波超音波の透過信号が現れる時間位置は、鑄片 1 の厚み、鑄片 1 のおよその温度、及び横波超音波の伝播速度から、大まかに既知であるので、その位置の信号だけを取り出すゲートを設け、そのゲート内の信号の最大値を求めるようにする。この処理は、受信信号の波形を A/

D変換で計算機内に取り込むことにより、計算処理で容易に実現することができる。信号の最大値の取り方としては、0 Vを基準にした絶対値でも、また、ピークトゥピーク値でも何れでもよい。尚、実際には、送信信号は数10 Hz～数100 Hzの周期で繰り返されるので、その一つ一つの波形を平均化してから横波超音波の透過強度を求めたり、一つ一つの波形の透過強度を平均化したりして、ノイズによる揺らぎの影響を少なくすることが有効である。

次いで、凝固完了位置到達検出部11の動作について図4を参照して説明する。図4は、凝固完了位置到達検出部11の動作の1例を示す図で、連続鋳造操作の数10分間におたって鋳造条件を変化させながら、横波透過強度検出部10から送られてくる横波超音波の透過信号の強度を検出したチャート図である。

図4に示すように、連続鋳造操作の鋳造条件の変化に応じて横波超音波の透過信号の強度は変化する。図4中のA及びBの範囲では透過信号の強度は非常に小さくなっており、凝固完了位置4が横波超音波送信器6及び横波超音波受信器8の配置位置よりも鋳造方向の下流側に存在する状態を表している。凝固完了位置到達検出部11では、透過信号の強度が所定の判定しきい値を横切った時点で、凝固完了位置4が横波超音波センサーの配置位置を通過したと判定する。この判定しきい値は、予め定めた固定値でも、或いは横波超音波の透過信号が現れない時間領域の信号レベルからノイズレベルを求め、その値を用いた変動しきい値でも、どちらでも構わない。凝固完了位置到達検出部11は、このようにして凝固完了位置4が横波超音波センサーの配置位置を通過したと判定すると、凝固完了位置演算部13へタイミング信号を送出する。

次に、縦波伝播時間検出部12の動作について図5を参照して説明する。図5は、縦波伝播時間検出部12の動作を示す図で、送信信号の1発分に対応した受信信号の波形を示す図である。図5中の最初の波は、送信信号が電氣的に縦波超音波受信器9に漏れ込んだものであり、2番目の波が縦波超音波の透過信号である。ここで、縦波伝播時間検出部12は、送信信号の送出タイミングから縦波超音波の透過信号の出現タイミングまでの時間を検出する。縦波超音波の透過信号の検出方法としては、図5に示すように、しきい値以上になる時点としても、或いはゲート内の最大値となる時点としても、どちらでもよい。この処理は、横波透過強度検出部10と同様に、受信信号の波形をA/D変換で計算機内に取り込むことにより、計算処理で容易に実現することができる。また、実際には、送

信信号は数10Hz～数100Hzの周期で繰り返されるので、その一つ一つの波形を平均化してから縦波超音波の伝播時間を求めたり、一つ一つの波形の伝播時間を平均化したりして、ノイズによる揺らぎの影響を少なくすることが有効である。

最後に、凝固完了位置演算部13の動作について図6を参照して説明する。図6は、第1の実施の形態例における凝固完了位置演算部13の動作を示す図で、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置4を算出する近似式を図示したものである。凝固完了位置4が縦波超音波送信器7及び縦波超音波受信器9の配置位置よりも casting 方向の下流側になるほど、液相部3の厚みが増大するため、伝播時間は長くなる。従って、伝播時間と、鑄型101内の溶鋼湯面20から凝固完了位置4までの距離とはおよそ比例関係になり、図6のような関係を示す。そこで、伝播時間から凝固完了位置4を求めるには、多項式の近似式、例えば下記の(2)式に示す一次式などを用いればよい。

但し、(2)式において、CEは鑄型内の溶鋼湯面20から凝固完了位置4までの距離、 $\Delta t$ は縦波超音波の伝播時間、 $a_1$ 及び $a_0$ は多項式の係数である。

$$CE = a_1 \cdot \Delta t + a_0 \quad \Delta (2)$$

図6中、Aで示す線は校正前の近似式を表している。ここで、凝固完了位置到達検出部11から凝固完了位置4の通過判定のタイミング信号が凝固完了位置演算部13に送出されると、凝固完了位置演算部13では、その時点における縦波超音波の伝播時間( $\Delta t_1$ )を求め、更に、鑄型内の溶鋼湯面20から凝固完了位置4までの距離(CE)が、横波超音波センサーの配置位置と合致するように、下記の(3)式を用いて(2)式の係数( $a_0$ )を修正する。

但し、(3)式において、 $CE_1$ は鑄型内の溶鋼湯面20から横波超音波センサーの配置位置までの距離、 $\Delta t_1$ は凝固完了位置4が横波超音波センサーの配置位置を通過したと判定した時点の縦波超音波の伝播時間である。

$$a_0 = CE_1 - a_1 \cdot \Delta t_1 \quad \Delta (3)$$

これによって、凝固完了位置4を求める近似式は校正され、例えば図6中にBで示す校正後となる。校正後は、Bで示す校正後の近似式を用いて、縦波超音波の伝播時間に基づ

いて精度良く凝固完了位置 4 を鋳造中にオンラインで検知することが可能となる。

校正する時点は、新たな鋼種を鋳造する毎の 1 回だけでも、また、連続鋳造の作業中に横波超音波センサーの配置位置を凝固完了位置 4 が横切る毎に、或いは、操作員の判断による適当な時期の何れでもよい。

尚、縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するための電磁超音波センサーとして、前述した図 2 に示す電磁超音波センサーは磁極が 3 つであったが、磁極を 4 以上とすることもできる。図 7 は、縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するための電磁超音波センサーの磁極を 4 つとした例の構成を示す図である。図 7 では、実際には重なって配置される縦波用コイル 3 2 と横波用コイル 3 3 とを、磁極に対する配置が分かりやすくなるように、別々に描いており、図面の向かって左側が縦波用コイル 3 2 の配置図で、右側が横波用コイル 3 3 の配置図である。図 2 に示す電磁超音波センサーと同様に、縦波用コイル 3 2 は内側の磁極の周囲を巻くように配置され、横波用コイル 3 3 は磁極面と重なるように配置されている。磁極の数は 4 に限るものではなく、更に多くても実施可能である。このようにすると、縦波用コイル 3 2 に対する水平磁場の強度が高くなるため、縦波超音波の感度が高くなる上に、横波超音波と縦波超音波の発生・検出位置がほぼ等しくなるという効果がある。

ところで、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの配置位置よりも上流側の場合には、縦波超音波は全て固相部 2 を透過する。また、横波超音波も、縦波超音波と同一位置で発生・検出するため全て固相部 2 を透過する。この場合の伝播時間は固相部 2 における超音波の伝播速度に依存することになる。超音波の伝播速度は固相部 2 の温度に依存することから、縦波超音波及び横波超音波の伝播時間は鋳片 1 の温度によって変化することになる。一方、凝固完了位置 4 から電磁超音波センサーの配置位置までの距離が異なると鋳片の温度は変化する。即ち、凝固完了位置 4 が電磁超音波センサーの配置位置から上流側に遠くなるほど鋳片の温度は低下する。鋳片の温度が低いほど超音波の伝播速度は増加するため、伝播時間は短くなる。

従って、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの配置位置よりも上流側の場合においても、伝播時間と、溶鋼湯面 2 0 から凝固完了位置 4 までの距離との関係は、前述した図 6 に示すものと同様の傾向になる。しかしながら、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの下流側に存在して伝播経路に液相部 3 が含まれる場合に較べると、固相部 2 に比べて伝播

速度の遅い液相部 3 の影響がないため、凝固完了位置 4 が鑄造方向で変動しても、この変動の伝播時間に及ぼす影響は小さく、検出される伝播時間の変動率は小さい。

そのため、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの上流側に存在する場合と下流側に存在する場合とで、伝播時間から凝固完了位置 4 を求める際に使用する計算式を異なる式とすることが好ましい。

具体的には、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーよりも上流側の場合には、伝播時間と凝固完了位置とを直接結び付けた実験式（図 6 に示すような式）を用いる方法、或いは、伝播時間から鑄片の内部温度または軸心温度を推定し、その値から凝固完了位置を推定する方法の何れでもよい。一方、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーよりも下流側の場合には、伝播時間と凝固完了位置とを直接結び付けた実験式（図 6 に示すような式）を用いる方法、或いは、伝播時間から固相部 2 の厚みまたは液相部 3 の厚みを推定し、その値から凝固完了位置を推定する方法の何れでもよい。図 6 に示すような実験式を用いる場合でも、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーよりも上流側の場合と下流側の場合とで、自ずと係数は異なってくる。

これを実施するためには、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの配置位置よりも上流側であるか下流側であるかを判別する必要がある。従って、この場合には、凝固完了位置到達検出部 1 1 では次の判定も実施する。即ち、横波超音波の透過強度が判定しきい値よりも大きければ凝固完了位置 4 は上流側と判定し、逆に、判定しきい値以下であれば凝固完了位置 4 は下流側と判定し、その信号を凝固完了位置演算部 1 3 に送出する。凝固完了位置演算部 1 3 では、その結果に基づき凝固完了位置 4 を計算するための計算式を選択し、選択した計算式を用いて凝固完了位置 4 を算出する。

尚、凝固完了位置 4 が横波超音波センサーの配置位置よりも上流側の場合に、横波超音波の伝播時間から凝固完了位置 4 を求めようとする場合には、縦波伝播時間検出部 1 2 と同様の機能を有する横波伝播時間検出部を、横波超音波センサーの出力側に設ける必要がある。

次いで、縦波超音波センサーで測定される縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を検出する方法及び装置に関する第 2 の実施の形態例について説明する。図 8 は、本発明の第 2 の実施の形態例を示す図であって、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを連続鑄造機の鑄造方向に離れた 2 箇所の鑄片幅方向の同一位置に配置した、本発明に係る凝固

完了位置検知装置を備えたスラブ連続鑄造機の概略図である。

第2の実施の形態では、図8に示すように、横波超音波送信器6及び横波超音波受信器8からなる横波超音波センサーと、縦波超音波送信器7及び縦波超音波受信器9からなる縦波超音波センサーとが鑄造方向の2箇所に別々に配置されている。この場合、横波超音波センサー及び縦波超音波センサーは、前述した図2に示すような縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するセンサーである必要はなく、通常のエレクトロニック超音波センサーを用いることができる。勿論、図2に示すエレクトロニック超音波センサーも用いることができる。

但し、スラブ連続鑄造機では、凝固完了位置4が鑄片1の幅方向で異なる場合もあるので、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとで検出する凝固完了位置4の鑄造方向の変化がほとんど無いと見なせる幅方向の範囲内に横波超音波センサー及び縦波超音波センサーを配置する必要がある。具体的には、前述したように、二次冷却が適切で凝固完了位置4の幅方向の形状を平坦と見なせる場合には、数100mm離れていてもよく、逆に、凝固完了位置4の幅方向の形状が大きく変化している場合には、数10mm以内とする必要があり、従って、何れにも対応するためには、数10mm以内とする必要がある。

また、横波超音波センサーの配置位置と縦波超音波センサーの配置位置との間隔は狭いほど検出精度が良く、配置間隔が広くなるほど精度が悪化するので、配置間隔はおよそ5m以内とすることが好ましい。また、縦波超音波センサーの検出する縦波超音波の伝播時間は、前述したように、液相部3が含まれていると敏感に変化するため、凝固完了位置4が縦波超音波センサーの下流側に存在する状態の方が精度は良く、従って、縦波超音波センサーを横波超音波センサーの鑄造方向の上流側に配置することが好ましい。

その他の構成は、図1に示す第1の実施の形態例と同一構成であり、同一の部分は同一符号により示し、その説明は省略する。

横波透過強度検出部10、凝固完了位置到達検出部11、縦波伝播時間検出部12及び凝固完了位置演算部13の動作も第1の実施の形態例と同様であり、凝固完了位置到達検出部11から凝固完了位置4の通過判定のタイミング信号が凝固完了位置演算部13に送出されると、凝固完了位置演算部13ではその時点における縦波超音波の伝播時間( $\Delta t_1$ )を求め、更に、溶鋼湯面20から凝固完了位置4までの距離(CE)が横波超音波センサーの配置位置となるように、前述した(3)式によって係数( $a_0$ )を修正する。凝固完了位置4を求める多項式の校正後は校正後の近似式を用いることで、縦波超音波の伝

播時間に基づいて精度良く凝固完了位置 4 を鑄造中にオンラインで検知することが可能となる。

校正の時期、並びに、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの上流側であるか否かによって凝固完了位置 4 を算出するための計算式を変更することは、前述した第 1 の実施の形態での説明に沿って行うこととする。

図 8 では、横波超音波センサーの配置位置を縦波超音波センサーの配置位置より下流側としているが、逆の上流側としてもよい。但し、この場合、縦波超音波センサーよりも上流側の凝固完了位置 4 を縦波超音波センサーによって検知する精度は余り高くないので、横波超音波センサーで凝固完了位置 4 の到達を検知した後、鑄造速度を考慮し、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの配置位置に到達したと予想される時点で、多項式を校正することが望ましい。このようにすることで、高い精度を得ることができる。

次いで、縦波超音波センサーで測定される縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を検出する方法及び装置に関する第 3 の実施の形態例について説明する。図 9 は、本発明の第 3 の実施の形態例を示す図であって、第 2 の横波超音波センサーを鑄造方向の下流側に離れた鑄片幅方向の同一位置に配置した、本発明に係る凝固完了位置検知装置を備えたスラブ連続鑄造機の概略図である。

第 3 の実施の形態では、図 9 に示すように、第 1 の実施の形態例における横波超音波送信器 6、横波超音波受信器 8、縦波超音波送信器 7、縦波超音波受信器 9 からなる縦波超音波及び横波超音波を発生・検出可能な電磁超音波センサーの配置位置の下流側に、横波超音波送信器 6 A 及び横波超音波受信器 8 A からなる第 2 の横波超音波センサーが設置されている。この場合、第 2 の横波超音波センサーは、前述した図 2 に示すような縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するセンサーである必要はなく、通常の電磁超音波センサーを用いることができる。勿論、図 2 に示す電磁超音波センサーも用いることができる。また、凝固完了位置 4 の鑄片幅方向での変化の影響を避けるために、第 2 の横波超音波センサーは、横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 からなる横波超音波センサー（以下、「第 1 の横波センサー」と称す）と鑄片幅方向の同一位置に設置されている。そして、横波超音波受信器 8 A の受信信号は、横波透過強度検出部 10 A に送出され、横波透過強度検出部 10 A の信号は凝固完了位置到達検出部 11 A に送出されている。横波透過強度検出部 10 A 及び凝固完了位置到達検出部 11 A は、それぞれ、前述した第

1の実施の形態例における横波透過強度検出部10及び凝固完了位置到達検出部11と同一機能を有しており、第2の横波超音波センサーの配置位置を凝固完了位置4が通過することで、凝固完了位置到達検出部11Aは、凝固完了位置演算部13へタイミング信号を送出するようになっている。

また、第2の横波超音波センサーの配置位置と第1の横波センサーの配置位置との間隔が余りに狭いと校正精度を高めることができないので、校正精度を高める観点から、両者の配置間隔は2m～10m程度の範囲が適当である。その他の構成は、図1に示す第1の実施の形態例と同一構成であり、同一の部分は同一符号により示し、その説明は省略する。

横波透過強度検出部10、凝固完了位置到達検出部11及び縦波伝播時間検出部12の動作は第1の実施の形態例と同様であるが、凝固完了位置演算部13の動作は異なるので、以下、凝固完了位置演算部13の動作について図10を参照して説明する。

図10は、第3の実施の形態例における凝固完了位置演算部13の動作を示す図で、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置4を算出する近似式を図示したものである。ここでは、第1の実施の形態例と同様に(2)式を用いて縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置4を算出するものとする。図10中、Aで示す線は校正前の近似式を表している。

ここで、凝固完了位置到達検出部11から、第1の横波センサー位置における凝固完了位置4の通過判定のタイミング信号が凝固完了位置演算部13に送出されると、凝固完了位置演算部13では、その時点における縦波超音波の伝播時間( $\Delta t_1$ )を記憶する。次に、鑄造速度や二次冷却強度などを変更させて凝固完了位置4を鑄造方向の下流側に延ばして凝固完了位置4が第2の横波超音波センサーの配置位置を通過すると、凝固完了位置到達検出部11Aから凝固完了位置4の通過判定のタイミング信号が凝固完了位置演算部13に送出される。凝固完了位置演算部13では、その時点における縦波超音波の伝播時間( $\Delta t_2$ )を求める。そして、下記に示す(4)式及び(5)式の連立方程式を解き、(2)式の定数( $a_1$ )及び定数( $a_0$ )を修正する。但し、(4)式及び(5)式において、 $CE_1$ は鑄型内の溶鋼湯面20から第1の横波センサーの配置位置までの距離、 $\Delta t_1$ は凝固完了位置4が第1の横波センサーの配置位置を通過したと判定した時点の縦波超音波の伝播時間、 $CE_2$ は鑄型内の溶鋼湯面20から第2の横波超音波センサーの配置位置までの距離、 $\Delta t_2$ は凝固完了位置4が第2の横波超音波センサーの配置位置を通

過したと判定した時点の縦波超音波の伝播時間である。

$$CE_1 = a_1 \cdot \Delta t_1 + a_0 \quad \Lambda (4)$$

$$CE_2 = a_1 \cdot \Delta t_2 + a_0 \quad \Lambda (5)$$

これによって、凝固完了位置 4 を求める近似式は校正され、例えば図 10 中に B で示す線となる。校正後は、B で示す校正後の近似式を用いて、縦波超音波の伝播時間に基づいて精度良く凝固完了位置 4 を鋳造中にオンラインで検知することが可能となる。この場合には第 1 の実施の形態よりも更に高い精度で凝固完了位置 4 を検知することができる。

校正の時期、並びに、凝固完了位置 4 が縦波超音波センサーの上流側であるか否かによって凝固完了位置 4 を算出するための計算式を変更することは、前述した第 1 の実施の形態での説明に沿って行うこととする。

次ぎに、鋳造条件と物性値とから伝熱計算によって凝固完了位置を検出する方法及び装置について説明する。図 11 は、伝熱計算によって凝固完了位置を検出する方法及び装置に関する本発明の第 4 の実施の形態例を示す図であって、本発明に係る凝固完了位置検知装置を備えたスラブ連続鋳造機の概略図である。

鋳造条件と物性値とから伝熱計算によって凝固完了位置 4 を検出する本発明に係る凝固完了位置検知装置は、図 11 に示すように、鋳片 1 を挟んで対向配置させた横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 からなる横波超音波センサーと、横波超音波送信器 6 へ電気信号を与えて鋳片 1 に超音波を送出するための電気回路である超音波送信部 5 と、横波超音波受信器 8 にて受信した受信信号を処理するための横波透過強度検出部 10 及び凝固完了位置到達検知部 11 と、伝熱計算用物性値を記憶するための物性値記憶部 14 と、伝熱計算を実施する伝熱計算部 15 と、を備えている。

横波透過強度検出部 10 は、横波超音波受信器 8 により受信された横波超音波信号の強度を検出する装置で、凝固完了位置到達検知部 11 は、横波透過強度検出部 10 にて検出された横波超音波の透過信号の変化から、凝固完了位置 4 が横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 の配置位置よりも鋳造方向の上流側か、或いは下流側かを判定する装置である。ここで、横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検出部 11 は計算機にて演算

される。尚、横波超音波受信器 8 とこの計算機との間には、超音波信号増幅器や波形を計算機に取り込むための A/D 変換器などが必要であるが、図中では省略している。物性値記憶部 14 及び伝熱計算部 15 も計算機で構成されている。

以下、受信した信号の処理方法について説明する。まず、横波透過強度検出部 10 の動作について説明する。横波透過強度検出部 10 の動作は第 1 の実施の形態例における横波透過強度検出部 10 と基本的に同一であり、前述した図 3 を参照して説明する。

図 3 において、図中の最初の波は、送信信号が電氣的に横波超音波受信器 8 に漏れ込んだものであり、2 番目の波が横波超音波の透過信号である。ここで、横波超音波の透過信号が現れる時間位置は、鋳片 1 の厚み、鋳片 1 のおよその温度、及び横波超音波の伝播速度から、大まかに既知であるので、その位置の信号だけを取り出すゲートを設け、そのゲート内の信号の最大値を求めるようにする。この処理は、受信信号の波形を A/D 変換で計算機内に取り込むことにより、計算処理で容易に実現することができる。信号の最大値の取り方としては、0 V を基準にした絶対値でも、また、ピークトゥピーク値でも何れでもよい。尚、実際には、送信信号は数 10 Hz ～ 数 100 Hz の周期で繰り返されるので、その一つ一つの波形を平均化してから横波超音波の透過強度を求めたり、一つ一つの波形の透過強度を平均化したりして、ノイズによる揺らぎの影響を少なくすることが有効である。

次いで、凝固完了位置到達検出部 11 の動作について、図 12 を参照して説明する。図 12 は、凝固完了位置到達検出部 11 の動作の他の 1 例を示す図で、鑄造速度を a ～ d まで 4 段階、段階的に増速していった際の横波透過強度のチャート図である。図中、X の範囲では横波透過強度は判定しきい値を超えているため、横波超音波センサーの配置位置では鋳片 1 は凝固していると判定される。鑄造速度が c まで上がり Y の範囲になると、横波透過強度が判定しきい値を下回るため、ここで凝固完了位置 4 が横波超音波センサーの配置位置に到達したと判定される。鑄造速度 c の定常部である Y の範囲では、横波透過強度はしきい値を挟んで上下しているが、これはこの鑄造条件においてちょうど凝固完了位置 4 が平均的に横波超音波センサーの配置位置となっており、わずかな揺らぎによって横波超音波センサーの上下流にわずかに変動していることを示している。更に、鑄造速度を上げた Z の範囲では、横波透過強度は常に判定しきい値を下回っており、横波超音波センサーの配置位置では鋳片 1 は未凝固であると判定される。凝固完了位置到達検出部 11 は、

このようにして凝固完了位置 4 が横波超音波センサーの配置位置を通過したと判定すると、物性値記憶部 1 4 へタイミング信号を送出する。

最後に、伝熱計算の方法と校正方法について説明する。物性値記憶部 1 4 には、伝熱計算で用いられる物性値が記憶されている。その主なものとしては、鋳片 1 の密度、エンタルピー、熱伝導率、固相線温度、鋳型 1 0 1 での抜熱、二次冷却帯の熱伝達係数、溶鋼温度などがある。これら以外に、鋳造条件として、鋳片 1 の厚みや幅、鋳造速度、鋼種などがあり、物性値とともに伝熱計算部 1 5 に与えられる。伝熱計算部 1 5 は溶鋼温度を出発点として、鋳片 1 の引き抜き方向に向かって温度変化を計算していく。凝固完了位置 4 は、鋳片 1 の軸心温度が固相線を横切る位置として求められる。

ここで、伝熱計算部 1 5 は、凝固完了位置到達検出部 1 1 からの凝固完了位置 4 の通過のタイミング信号に基づき、物性値記憶部 1 4 に入力されている物性値、並びに凝固完了位置 4 が横波超音波センサーの設置位置となっている際の鋳造条件を用いて伝熱計算を行い、伝熱計算による凝固完了位置が横波超音波センサーの設置位置に合致するように、物性値を変化させる。具体的には、例えば熱伝導率を数段階変化させて伝熱計算によって凝固完了位置を求め、図 1 3 に示されるように、伝熱計算による凝固完了位置が横波超音波センサーの設置位置に合致する条件の熱伝導率を求めればよい。ここで図 1 3 は、伝熱計算で使用する熱伝導率を変化させたときの凝固完了位置の挙動を示す図であり、熱伝導率が大きくなると溶鋼湯面 2 0 から凝固完了位置 4 までの距離が短くなる様子を模式的に示している。

ここでは熱伝導率を例としたが、校正に用いる物性値としてはこれ以外の例えば二次冷却帯の熱伝達係数など他の物性値でも勿論利用できる。校正された物性値は、伝熱計算部 1 5 から物性値記憶部 1 4 に入力されて記憶される。これ以降、校正された物性値を用いて伝熱計算を実施する。以上のようにして、伝熱計算が校正される。

校正する時点は、新たな鋼種を鋳造する毎の 1 回だけでも、また、連続鋳造の操作中に横波超音波センサーの配置位置を凝固完了位置 4 が横切る毎に、或いは、操作員の判断による適当な時期の何れでもよい。

図 1 4 はこのようにして校正された伝熱計算を用いて鋳造速度を数段階に変化させて求めた凝固完了位置と、同様に鋳造速度を数段階に変化させて操作した際に、鋳片 1 に金属製の鋳を打ち込み、鋳片 1 の長手方向の複数点で凝固・未凝固を判定した結果とを比較し

た図であり、伝熱計算により求めた凝固完了位置と鋳打ち込みによって確認した凝固完了位置とがよく一致していることが分る。このことから、本発明によって高精度に凝固完了位置 4 を推定できることが確認された。

次いで、鑄造条件と物性値とから伝熱計算によって凝固完了位置を検出する方法及び装置に関する第 5 の実施の形態例について説明する。図 15 は、本発明の第 5 の実施の形態例を示す図であって、本発明に係る凝固完了位置検知装置を備えたスラブ連続鑄造機の概略図である。

第 5 の実施の形態例では、図 15 に示すように、鑄片 1 を挟んで対向配置させた横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 からなる横波超音波センサーと、鑄片 1 を挟んで対向配置させた縦波超音波送信器 7 及び縦波超音波受信器 9 からなる縦波超音波センサーと、横波超音波送信器 6 及び縦波超音波送信器 7 へ電気信号を与えて鑄片 1 に超音波を送出するための電気回路である超音波送信部 5 と、横波超音波受信器 8 にて受信した受信信号を処理するための横波透過強度検出部 10 及び凝固完了位置到達検知部 11 と、縦波超音波受信器 9 にて受信した受信信号を処理するための縦波伝播時間検出部 12 と、伝熱計算用物性値を記憶するための物性値記憶部 14 と、伝熱計算を実施する伝熱計算部 15 と、縦波伝播時間検出部 12 及び伝熱計算部 15 からの信号を処理するための凝固完了位置推定部 16 と、を備えている。ここで、横波超音波センサー及び縦波超音波センサーは、前述した図 2 に示すような縦波超音波と横波超音波とを同一発生で発生・検出するセンサーであるが、通常の電磁超音波センサーを用いることができる。

縦波伝播時間検出部 12 は、縦波超音波受信器 9 にて受信した受信信号から鑄片 1 を透過する縦波超音波の伝播時間を検出する装置であり、凝固完了位置推定部 16 は、縦波伝播時間検出部 12 で検出した縦波の伝播時間と伝熱計算部 15 で算出された凝固完了位置との関係を定め、定めた関係に基づき、縦波超音波の伝播時間から間接的に凝固完了位置 4 を推定する装置である。縦波伝播時間検出部 12 及び凝固完了位置推定部 16 は計算機で構成されている。その他の横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検知部 11、物性値記憶部 14 及び伝熱計算部 15 は、第 4 の実施の形態例と同一装置であり、同一の機能を備えており、ここではその説明を省略する。

以下、受信した信号の処理方法について説明する。横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検知部 11、物性値記憶部 14 及び伝熱計算部 15 における信号の処理方法は、

第4の実施の形態例と同一であるので、ここではその説明を省略する。

縦波伝播時間検出部12の動作は、第1の実施の形態例における縦波伝播時間検出部12の動作と基本的に同一であり、前述した図5を参照して説明する。図5において、図中の最初の波は、送信信号が電氣的に縦波超音波受信器9に漏れ込んだものであり、2番目の波が縦波超音波の透過信号である。ここで、縦波伝播時間検出部12は、送信信号の送出タイミングから縦波透過信号の出現タイミングまでの時間を検出する。縦波超音波の透過信号の検出方法としては、図5に示すように、しきい値以上になる時点としても、或いはゲート内の最大値となる時点としても、どちらでもよい。この処理は、横波透過強度検出部10と同様に、受信信号の波形をA/D変換で計算機内に取り込むことにより、計算処理で容易に実現することができる。また、実際には、送信信号は数10Hz～数100Hzの周期で繰り返されるので、その一つ一つの波形を平均化してから縦波超音波の伝播時間を求めたり、一つ一つの波形の伝播時間を平均化したりして、ノイズによる揺らぎの影響を少なくすることが有効である。

最後に、凝固完了位置推定部16の動作について図16を参照して説明する。図16は、凝固完了位置推定部16の処理機能の例を示す図で、凝固完了位置推定部16により作成された、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置4を算出する近似式を図示したものである。図16において横軸は、縦波伝播時間検出部12による伝播時間の測定値であり、縦軸は、溶鋼湯面20から凝固完了位置4までの距離であり、図中の $V_c$ は、鑄造速度である。

ここで、横波超音波センサーは溶鋼湯面20から29.7mの位置に設置されており、例えば $V_c = 1.8 \text{ m/分}$ の定常部において図12に示すYの範囲のような信号が得られたとすると、この鑄造条件における凝固完了位置4は、溶鋼湯面20から29.7mの位置であるから、そのときの縦波伝播時間検出部12による伝播時間とを対比させると、図16中の白丸のプロットができる。次に、この時点で、伝熱計算部15は、物性値記憶部14に入力された鑄造条件及び物性値を用いて伝熱計算を実施し、伝熱計算によって求められた凝固完了位置4が29.7mとなるように伝熱計算で使用する物性値を校正し、校正した物性値を使用して、例えば $V_c = 1.9 \text{ m/分}$ 、 $2.0 \text{ m/分}$ 、 $2.1 \text{ m/分}$ のときの凝固完了位置を伝熱計算により求める。校正した物性値は物性値記憶部14で記憶される。また、凝固完了位置を求めるべく伝熱計算を実施した $V_c = 1.9 \text{ m/分}$ 、 $2.0$

m/分、2. 1 m/分の各鑄造速度で操業を行い、定常部においてそれぞれの縦波超音波の伝播時間を縦波伝播時間検出部 12 により測定する。測定した縦波超音波の伝播時間と伝熱計算により求められた凝固完了位置とをプロットすると、図 16 中の黒丸のプロットが作成される。このようにして得られたプロット点から、両者の近似式あるいはテーブルを作成することによって、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置 4 を求めることができる。ここで近似式は一次式でも多項式でも何れでも構わない。

伝熱計算で使用する物性値が校正されたなら、伝播時間及び伝熱計算による凝固完了位置の両者の近似式あるいはテーブルをその都度更新することが好ましい。伝熱計算で使用する物性値を校正する時点は、新たな鋼種を鑄造する毎の 1 回だけでも、また、連続鑄造の操業中に横波超音波センサーの配置位置を凝固完了位置 4 が横切る毎に、或いは、操作員の判断による適当な時期の何れでもよい。尚、第 5 の実施の形態例では、横波超音波センサーと縦波超音波センサーとを同一位置に配置しているが、鑄造引き抜き方向に離れた位置でも実施可能である。

次いで、鑄造条件と物性値とから伝熱計算によって凝固完了位置を検出する方法及び装置に関する第 6 の実施の形態例について説明する。図 17 は、本発明の第 6 の実施の形態例を示す図であって、本発明に係る凝固完了位置検知装置を備えたスラブ連続鑄造機の概略図である。

第 6 の実施の形態例では、図 17 に示すように、鑄片 1 を挟んで対向配置させた横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 からなる横波超音波センサー（以下、「第 1 の横波超音波センサー」と呼ぶ）と、第 1 の横波超音波センサーの下流側に鑄片 1 を挟んで対向配置させた横波超音波送信器 6 B 及び横波超音波受信器 8 B からなる第 2 の横波超音波センサーと、横波超音波送信器 6 及び横波超音波送信器 6 B へ電気信号を与えて鑄片 1 に超音波を送出するための電気回路である超音波送信部 5 と、横波超音波受信器 8 にて受信した受信信号を処理するための横波透過強度検出部 10 及び凝固完了位置到達検知部 11 と、横波超音波受信器 8 B にて受信した受信信号を処理するための横波伝播時間検出部 17 と、伝熱計算用物性値を記憶するための物性値記憶部 14 と、伝熱計算を実施する伝熱計算部 15 と、横波伝播時間検出部 17 及び伝熱計算部 15 からの信号を処理するための凝固完了位置推定部 16 と、を備えている。

横波伝播時間検出部 17 は、横波超音波受信器 8 B にて受信した受信信号から鑄片 1 を

透過する横波超音波の伝播時間を検出する装置であり、計算機で構成されている。その他の横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検知部 11、物性値記憶部 14、伝熱計算部 15 及び凝固完了位置推定部 16 は、第 5 の実施の形態例と同一装置であり、同一の機能を備えており、ここではその説明を省略する。

以下、受信した信号の処理方法について説明する。横波透過強度検出部 10、凝固完了位置到達検知部 11、物性値記憶部 14 及び伝熱計算部 15 における信号の処理方法は、第 5 の実施の形態例と同一であるので、ここではその説明を省略する。

横波伝播時間検出部 17 の動作は、第 5 の実施の形態例における縦波伝播時間検出部 12 の動作と基本的に同一であり、横波伝播時間検出部 17 は、送信信号の送出タイミングから横波透過信号の出現タイミングまでの時間を検出する。横波超音波の透過信号の検出方法としては、しきい値以上になる時点としても、或いは図 3 に示すようなゲート内の最大値となる時点としても、どちらでもよい。

凝固完了位置推定部 16 は、横波伝播時間検出部 17 によって測定された横波超音波の伝播時間と伝熱計算部 15 によって計算された凝固完了位置との関係を、例えば第 5 の実施の形態例で説明した図 16 のようにして定め、定めた両者の関係に基づき、横波伝播時間検出部 17 によって測定された横波超音波の伝播時間から凝固完了位置 4 を求める。即ち、第 6 の実施の形態例では、第 5 の実施の形態例における縦波超音波の伝播時間の代わりに横波超音波の伝播時間を用いて凝固完了位置 4 を求めるものである。従って、伝熱計算で使用する物性値の校正などは第 5 の実施の形態例に準じて実施する。

尚、第 6 の実施の形態例では、横波超音波の伝播時間を求めるために第 2 の横波超音波センサーを設置したが、第 2 の横波超音波センサーの設置は必ずしも必要でなく、伝播時間を測定するための横波超音波センサーとして、横波超音波送信器 6 及び横波超音波受信器 8 からなる第 1 の横波超音波センサーを兼用することもできる。但し、横波超音波の伝播時間から凝固完了位置 4 を求める場合には、凝固完了位置の求められる範囲は、横波超音波センサーの設置位置よりも凝固完了位置 4 が上流側に在る場合に限定されるので、設置位置に注意することが重要である。

上記に説明した第 1 ～ 6 の実施の形態例の凝固完了位置検出方法及び検出装置を用いることにより、凝固完了位置 4 をオンラインで正確に把握することが可能となり、操業パラメータを調整することで凝固完了位置 4 の制御が可能となる。その結果、凝固完了位置 4

をできる限り連続鋳造機の機端に位置させて生産性を向上したり、軽圧下帯に常に収まるようにして中心偏析を低減させたりすることが可能となる。

凝固完了位置 4 の制御に適用可能な操業パラメータとしては、鋳造速度、二次冷却水量（全体の増減、長手方向の水量分布パターン、幅方向の水量分布パターン）、ロールギャップパターン、電磁攪拌強度の変更、モールドパウダー（銘柄）の変更、溶鋼の過熱度（保温蓋や発熱パウダーによる制御）などがあり、これらの鋳造条件と凝固完了位置 4 との関係を予め実験的或いは理論的に把握しておくことによって、これらの操業パラメータの調整により、凝固完了位置 4 を正確に制御することができる。

尚、本発明は上記に説明した範囲に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々に変更することができる。例えば、上記説明では電磁超音波センサーを用いた場合について説明したが、縦波超音波の送信及び受信には、圧電振動子を水と接触させる方法や、レーザー超音波法を用いてもよい。また、レーザー超音波法で送信し、電磁超音波法で受信することも計測感度を高めることから有用である。

更に、上記実施の形態においては、横波超音波送信器 6 と横波超音波受信器 8 とを、或いは、縦波超音波送信器 7 と縦波超音波受信器 9 とを、鋳片 1 を挟んで透過法で計測する配置としているが、送信器と受信器とを鋳片 1 の同一面上に配置し、鋳片 1 の反対面でのエコーを利用して反射法で計測するようにしてもよい。本発明にいう超音波センサーは、これらの何れの形態も含むものである。また、本発明においては、伝播時間から凝固完了位置を求める計算式の校正や伝熱計算の物性値の校正、或いは伝播時間と凝固完了位置との近似式やテーブルの作成などは、鋳片幅方向の任意の複数位置で行ってもよい。このように、鋳片幅方向の任意の複数位置において、それぞれ別の計算式を用いるようにすると、鋳片幅方向における冷却ムラや厚み変動の影響を少なくして、各位置それぞれで測定精度を向上させることができる。その場合、上下流に複数の超音波センサーを設けた場合、それぞれの超音波センサーの測定位置は鋳片 1 に対して同一の幅方向位置で行う必要がある。

更にまた、上記実施の形態例では、伝播時間から凝固完了位置を求める計算式の校正や伝熱計算の物性値の校正、或いは伝播時間と凝固完了位置との近似式やテーブルの作成などを実施した連続鋳造機において凝固完了位置 4 を推定しているが、校正された計算式、物性値、或いは、伝播時間と凝固完了位置との近似式やテーブルを用いて、別の連続鋳造

機の凝固完了位置を推定することもできる。但し、この場合にも、例えば縦波超音波の伝播時間を把握するために、別の連続鋳造機においても縦波超音波センサーを配置する必要がある。尚、別の連続鋳造機に限らず同一の連続鋳造機において、故障や更新などで交換された新しい超音波センサーに対して、校正された計算式、物性値、或いは、伝播時間と凝固完了位置との近似式やテーブルを入力して使用することも可能である。

また、第1～第3の実施の形態例では、縦波超音波の伝播時間から一次式を用いて凝固完了位置4を直接求める場合について説明したが、二次式或いは三次式などの多項式を用いてもよく、また、縦波超音波の伝播時間から固相部2の厚みを求め、求めた固相部2の厚みと鋳造速度とから凝固完了位置を求めてもよい。その場合には、横波超音波によって凝固完了位置の通過が判定された時点において、前述した(1)式で求められる固相厚み(d)が鋳片厚み(D)の $1/2$ となるように校正すればよい。

更に、縦波超音波と横波超音波とを同一位置で発生・検出するための電磁超音波センサーについては、縦波用コイルと横波用コイルとを別々に配置せず、センサーの磁極の極性を交互に変えることによって縦波用のコイルと横波用のコイルとを同一のコイルで兼用することもできる。

更にまた、凝固完了位置到達検出部11における判定を操作員の判断に任せ、凝固完了位置の通過判定のタイミングを操作員が凝固完了位置演算部13に指示するようにしてもよい。更には、データの収集を行った後に、凝固完了位置の通過判定や校正、並びに、凝固完了位置の推定作業を机上で人手によって行ってもよい。

また、第4～第6の実施の形態例では、鋳造速度を段階的に変化させ、定常部において凝固完了位置が横波超音波センサーの位置になる鋳造速度を求めるようにして伝熱計算を校正しているが、非定常部において凝固完了位置が横波超音波センサーの位置を通過するタイミングを測定するようにしても、非定常部も考慮した伝熱計算を用いることによって伝熱計算の校正は可能である。

#### 産業上の利用可能性

本発明によれば、鋳片の凝固完了位置を横波超音波センサーによって検出した時点で、縦波超音波センサーで測定された縦波超音波の伝播時間から求められる凝固完了位置、或いは、伝熱計算から求められる凝固完了位置を校正するので、鋳片への鋳打ち込みなどの

手間のかかる校正作業を施すことなく、横波超音波センサーや縦波超音波センサーの測定値のみから鋳片の凝固完了位置を精度良く検知することが可能となる。これにより、全ての鋼種の様々な鋳造条件において凝固完了位置を鋳造中に精度良く把握することが可能となり、連続鋳造機の機長を最大に使って生産性を向上したり、軽圧下を適切に施して中心偏析の軽減された鋳片を製造したりすることなどができ、工業上有益な効果がもたらされる。

## 請求の範囲

1. 連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する横波超音波センサーと、連続鋳造鋳片に対して縦波超音波を送信し且つ送信した縦波超音波を受信する縦波超音波センサーと、を連続鋳造機の同一位置または鋳造方向に離れた2箇所の鋳片幅方向の同一位置に配置し、横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鋳片の凝固完了位置が横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における縦波超音波の伝播時間から算出した凝固完了位置が横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求める計算式を校正し、校正後は、校正した計算式に基づき、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求めることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法。
2. 更に、前記横波超音波センサーの鋳造方向下流側の鋳片幅方向の同一位置に第2の横波超音波センサーを配置し、第2の横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鋳片の凝固完了位置が第2の横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における縦波超音波の伝播時間から算出した凝固完了位置が第2の横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求める計算式を更に校正することを特徴とする、請求項1に記載の連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法。
3. 前記縦波超音波の伝播時間から凝固完了位置を求める計算式は、凝固完了位置が縦波超音波センサーの配置された位置よりも鋳造方向上流側の場合と下流側の場合とで、異なる計算式であることを特徴とする、請求項1または請求項2に記載の連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法。
4. 連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する横波超音波センサーを連続鋳造機に配置し、横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鋳片の凝固完了位置が横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における鋳造条件を用いた伝熱計算によって算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、伝熱計算で用いる物性値を校正し、校正

後は、校正した物性値を用いて各々の鑄造条件における凝固完了位置を伝熱計算によって求めることを特徴とする、連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法。

5. 連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する横波超音波センサーを連続鑄造機に配置し、横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鑄片の凝固完了位置が横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における鑄造条件を用いた伝熱計算によって算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、伝熱計算で用いる物性値を校正し、次いで、種々の鑄造条件において、校正した物性値を用いて伝熱計算によって凝固完了位置を求めるとともに前記横波超音波センサーによって伝播時間を測定し、伝熱計算によって求めた凝固完了位置と横波超音波センサーによって測定した伝播時間との関係を求め、該関係に基づき、横波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置を求めることを特徴とする、連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法。

6. 連続鑄造鑄片に対して横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する第1の横波超音波センサーと、連続鑄造鑄片に対して縦波超音波を送信し且つ送信した縦波超音波を受信する縦波超音波センサーか、または、横波超音波を送信し且つ送信した横波超音波を受信する第2の横波超音波センサーのうちの少なくとも1つと、を連続鑄造機に配置し、第1の横波超音波センサーの受信信号の強度の変化に基づいて鑄片の凝固完了位置が第1の横波超音波センサーの配置した位置と一致したことを検知し、その時点における鑄造条件を用いた伝熱計算によって算出される凝固完了位置が第1の横波超音波センサーの配置された位置と合致するように、伝熱計算で用いる物性値を校正し、次いで、種々の鑄造条件において、校正した物性値を用いて伝熱計算によって凝固完了位置を求めるとともに前記縦波超音波センサーまたは第2の横波超音波センサーによって伝播時間を測定し、伝熱計算によって求めた凝固完了位置と縦波超音波センサーまたは第2の横波超音波センサーによって測定した伝播時間との関係を求め、該関係に基づき、縦波超音波センサーまたは第2の横波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置を求めることを特徴とする、連続鑄造鑄片の凝固完了位置検知方法。

7. 請求項1ないし請求項3の何れか1つに記載された方法によって校正された計算式を用い、前記校正を実施した連続鋳造機と同一若しくは異なる別の連続鋳造機に配置された縦波超音波センサーによる縦波超音波の伝播時間から、該連続鋳造機における凝固完了位置を求めることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法。

8. 請求項4に記載された方法によって校正された物性値と、前記校正を実施した連続鋳造機と同一若しくは異なる別の連続鋳造機の鋳造条件とを用いて伝熱計算して、該連続鋳造機における凝固完了位置を求めることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法。

9. 請求項5または請求項6に記載された方法によって求められた、伝熱計算から求めた凝固完了位置と超音波センサーによって測定した伝播時間との関係に基づき、該関係を求めた連続鋳造機と同一若しくは異なる別の連続鋳造機に配置された横波超音波センサー或いは縦波超音波センサーによる超音波の伝播時間から、該連続鋳造機における凝固完了位置を求めることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法。

10. 請求項1ないし請求項6の何れか1つに記載の連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知方法によって鋳片の凝固完了位置を判定し、該判定結果に基づき、鋳造速度または鋳片の二次冷却強度を調整することを特徴とする、連続鋳造鋳片の製造方法。

11. 連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、該横波超音波センサーの配置位置と連続鋳造機の同一位置または鋳造方向に離れた鋳片幅方向の同一位置に設置された、連続鋳造鋳片に対して縦波超音波を送信する縦波送信器と送信した縦波超音波を受信する縦波受信器とからなる縦波超音波センサーと、該縦波超音波センサーで受信した受信信号に基づき計算式を用いて鋳片の凝固完了位置を求める凝固完了位置演算部と、を備えた連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記計算式により算出される凝固完了位置が横波超音波センサー

の配置位置と合致するように前記計算式は校正されることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置。

12. 更に、前記横波超音波センサーの鋳造方向下流側の鋳片幅方向の同一位置に第2の横波超音波センサーが配置され、第2の横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって第2の横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記計算式により算出される凝固完了位置が第2の横波超音波センサーの配置位置と合致するように前記計算式は更に校正されることを特徴とする、請求項11に記載の連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置。

13. 前記横波送信器及び縦波送信器は鋳片を挟んで一方側に配置され、前記横波受信器及び縦波受信器は鋳片を挟んでその反対側に配置されており、横波送信器と縦波送信器、及び、横波受信器と縦波受信器とは、鋳片の幅方向に3つ以上の磁極を有し、内側の磁極の周囲を巻くように配置した縦波用コイルと、磁極面に重なるように配置した横波用コイルと、を有する一体構造の電磁超音波センサーで構成されていることを特徴とする、請求項11または請求項12に記載の連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置。

14. 連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、鋳造条件及び物性値に基づいて伝熱計算を行って鋳片の凝固完了位置を求める伝熱計算部と、を備えた連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記伝熱計算部により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように伝熱計算に使用される物性値が校正されることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置。

15. 連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、鋳造条件及び物性値に基づいて伝熱計算を行って鋳片の凝固完了位置を求める伝熱計算部と、前記横波超音波センサーで受

信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係を用いて鋳片の凝固完了位置を求める凝固完了位置推定部と、を備えた連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記伝熱計算部により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように伝熱計算に使用される物性値が校正され、該物性値の校正後、前記凝固完了位置推定部において横波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係が定められ、該関係に基づき、横波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置が求められることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置。

16. 連続鋳造鋳片に対して横波超音波を送信する横波送信器と送信した横波超音波を受信する横波受信器とからなる横波超音波センサーと、連続鋳造鋳片に対して縦波超音波を送信する縦波送信器と送信した縦波超音波を受信する縦波受信器とからなる縦波超音波センサーと、鋳造条件及び物性値に基づいて伝熱計算を行って鋳片の凝固完了位置を求める伝熱計算部と、前記縦波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係を用いて鋳片の凝固完了位置を求める凝固完了位置推定部と、を備えた連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置であって、前記横波超音波センサーの受信信号の強度の変化によって横波超音波センサーの配置位置と鋳片の凝固完了位置とが一致したことが確認された時点において、前記伝熱計算部により算出される凝固完了位置が横波超音波センサーの配置位置と合致するように伝熱計算に使用される物性値が校正され、該物性値の校正後、前記凝固完了位置推定部において縦波超音波センサーで受信した受信信号と伝熱計算部で算出した凝固完了位置との関係が定められ、該関係に基づき、縦波超音波センサーで測定される伝播時間から凝固完了位置が求められることを特徴とする、連続鋳造鋳片の凝固完了位置検知装置。

図 1

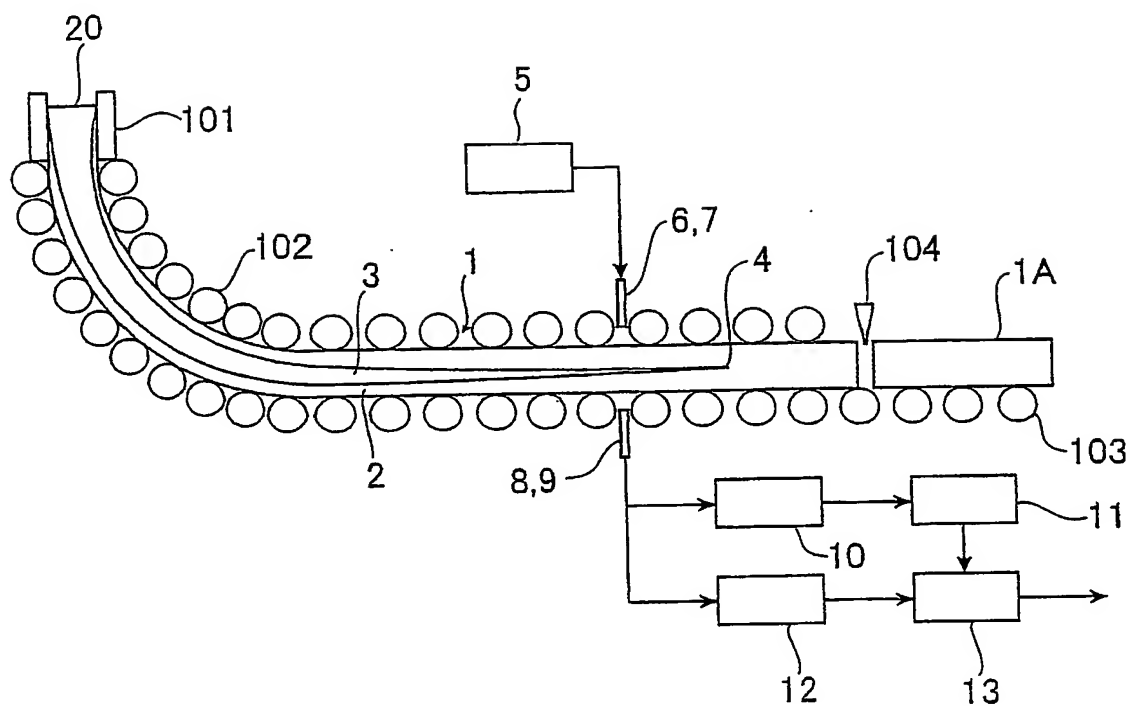


図 2

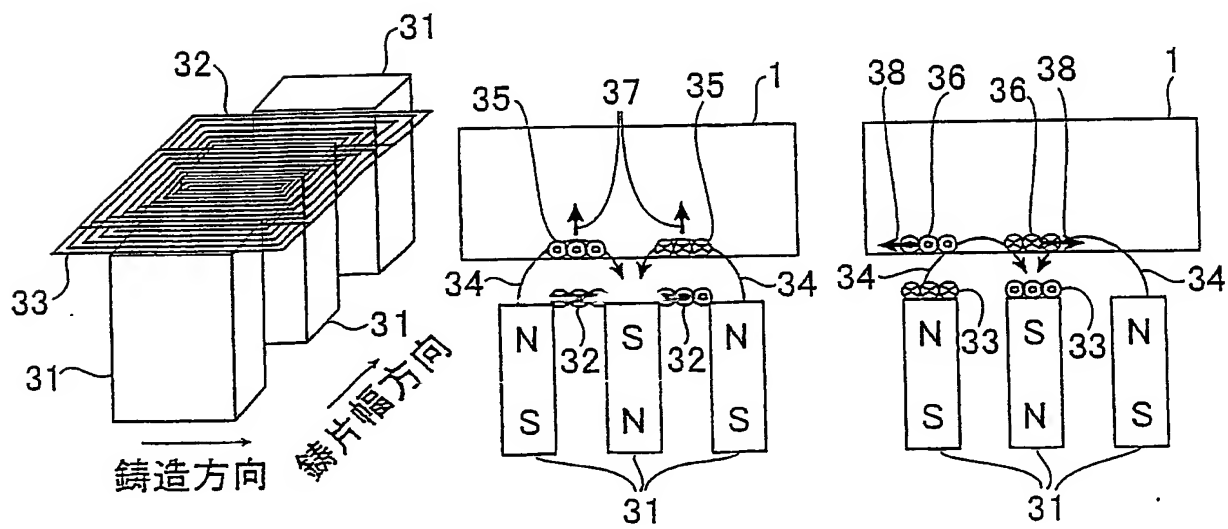


図 3

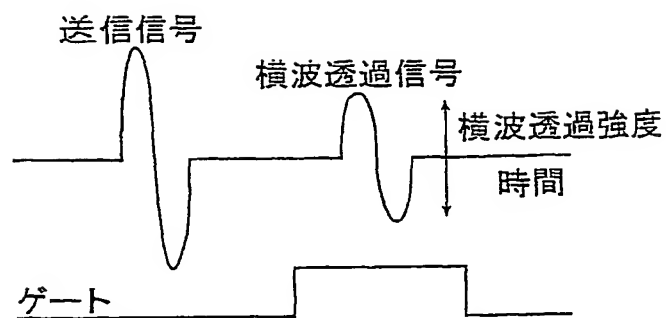


図 4

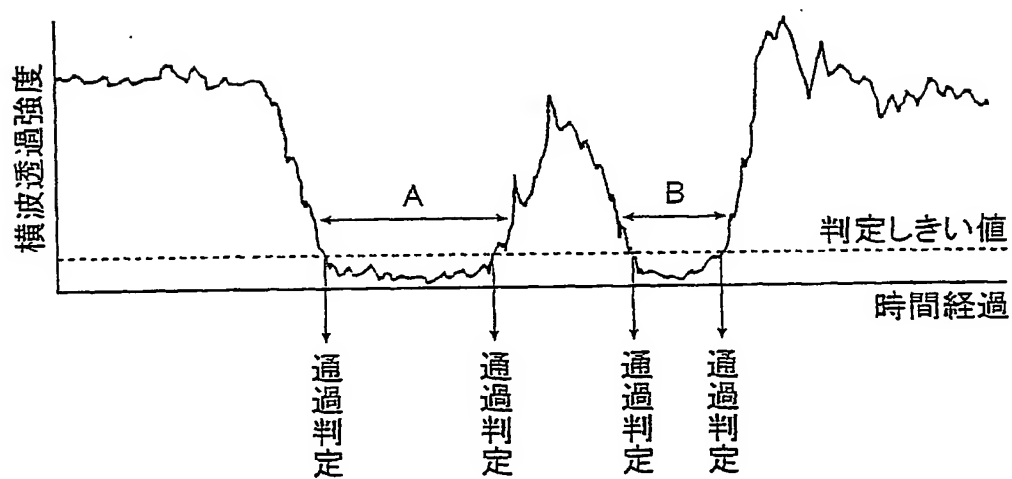


図 5

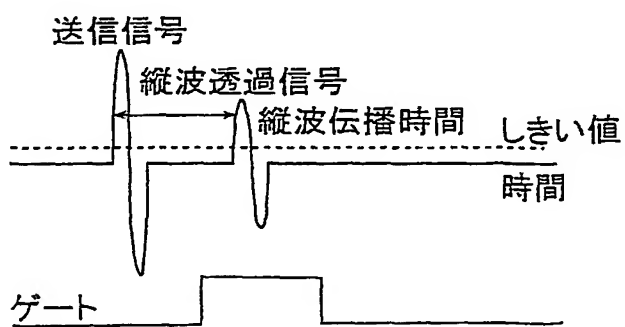


図 6

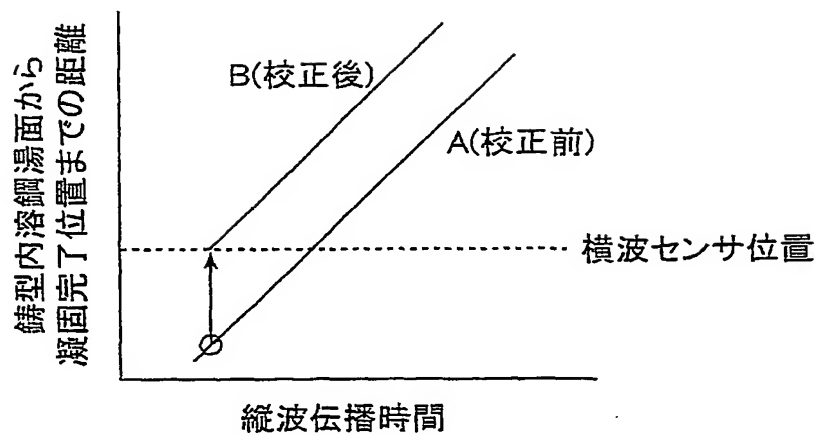


図 7

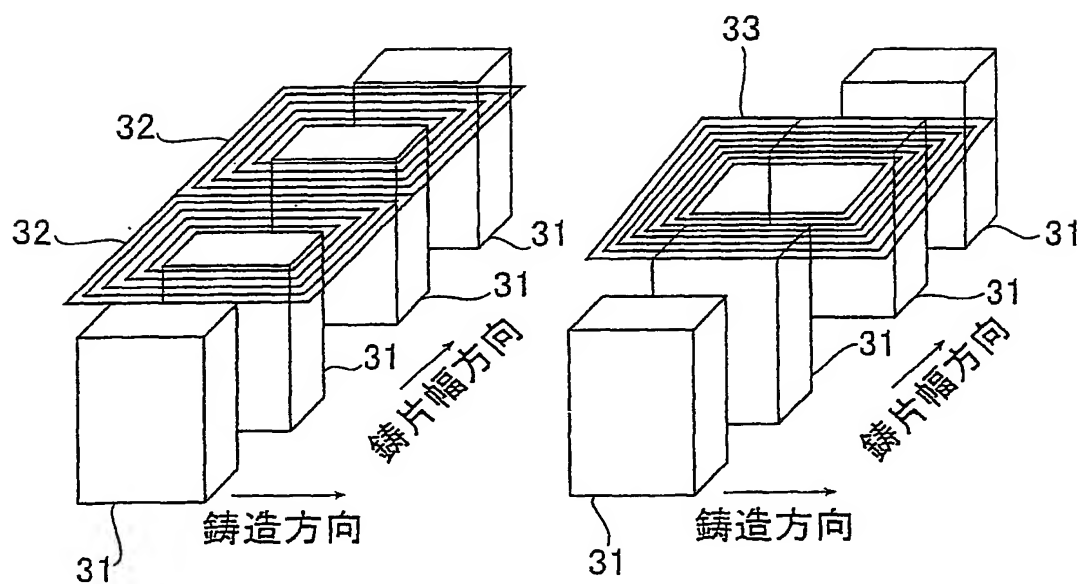


図 8

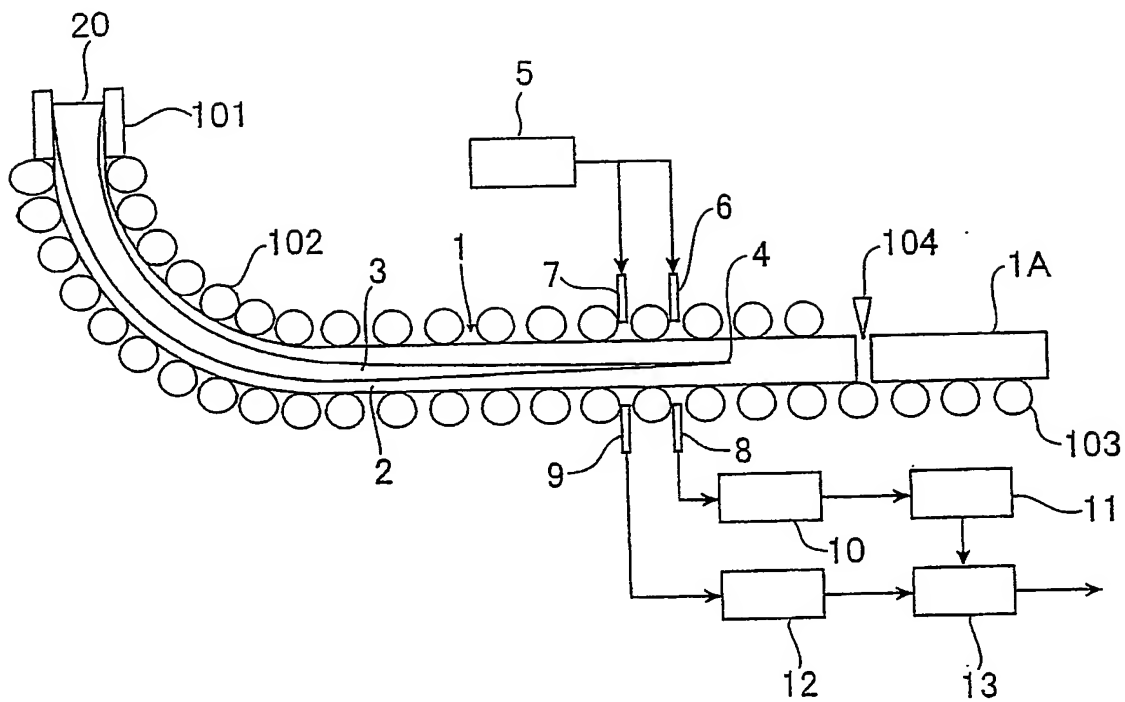


図 9

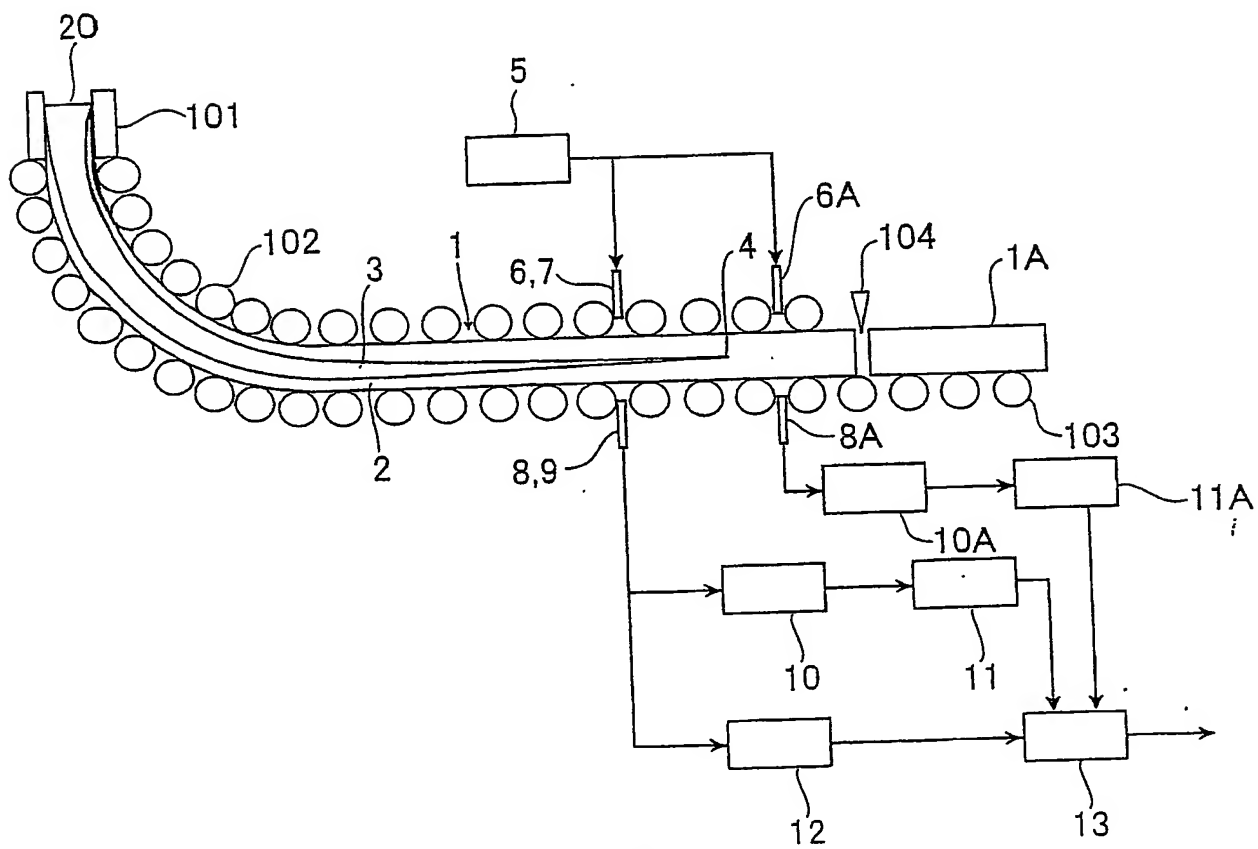


图 10

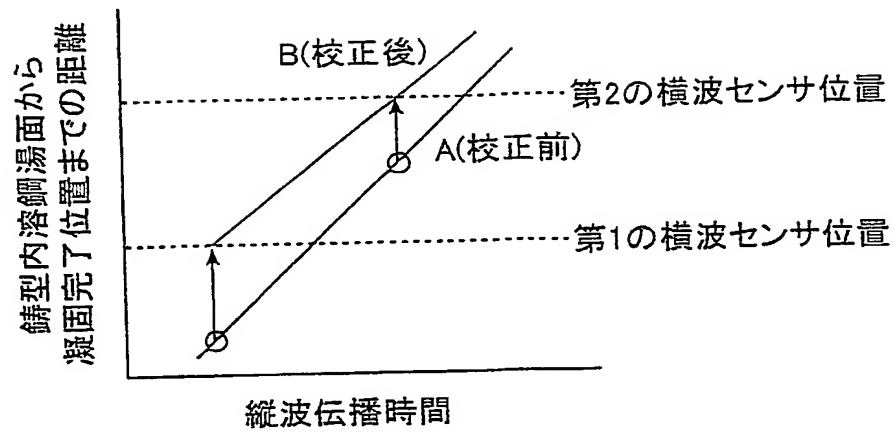


图 11

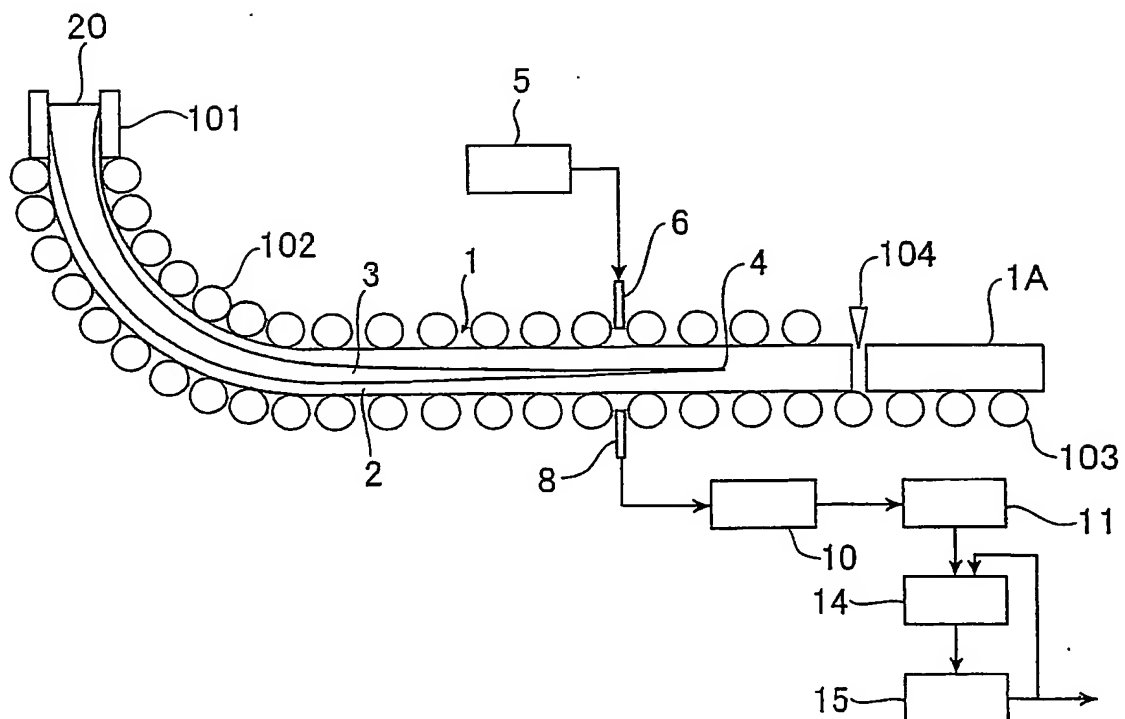


図 12

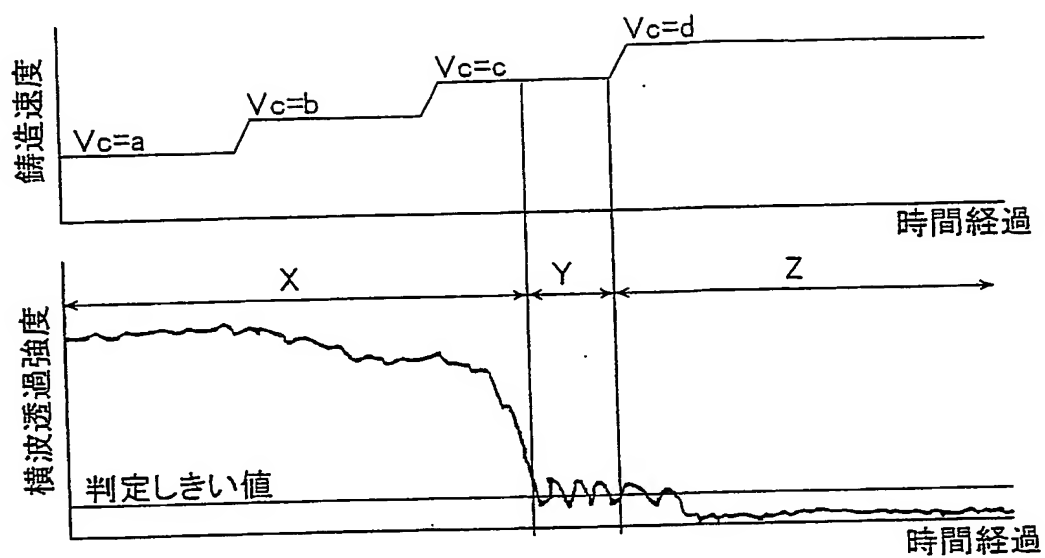


図 13

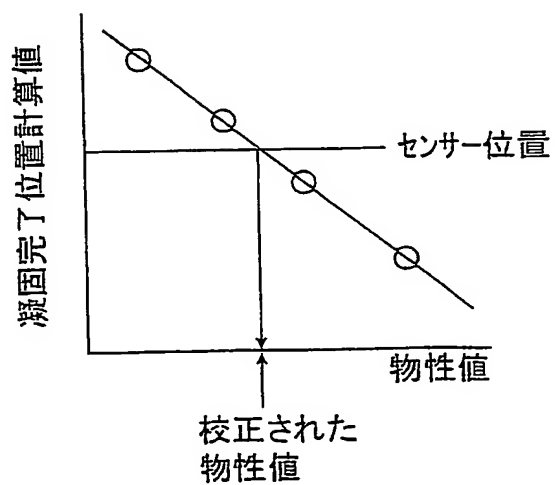


図 14

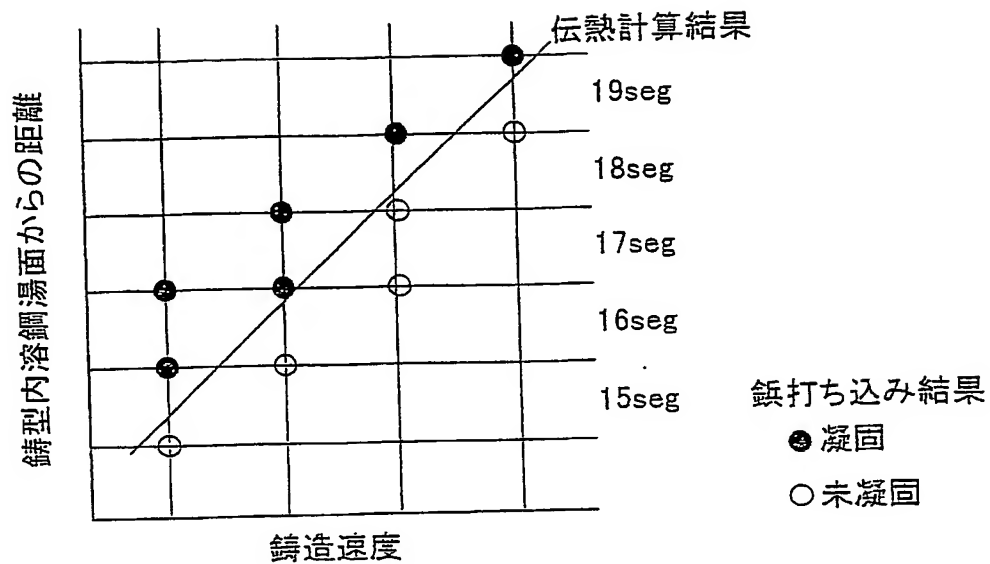


図 15

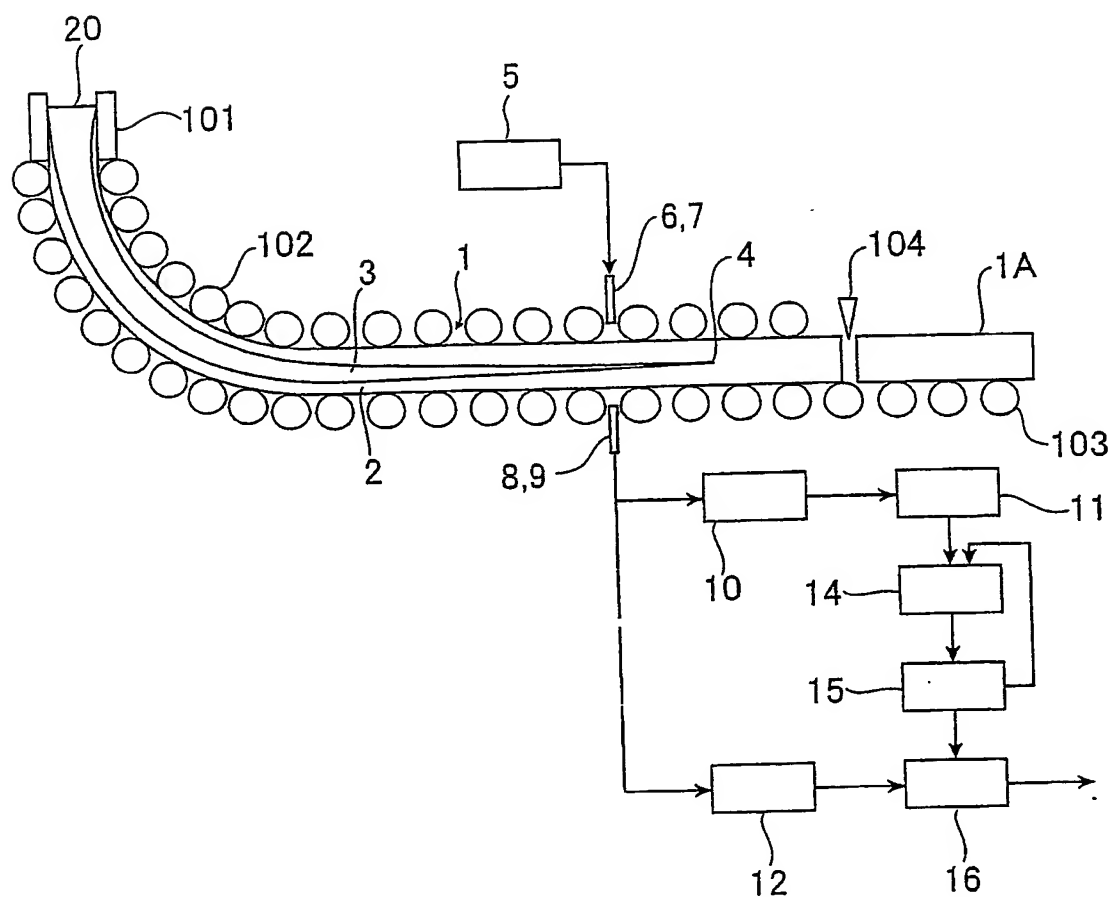


図 16

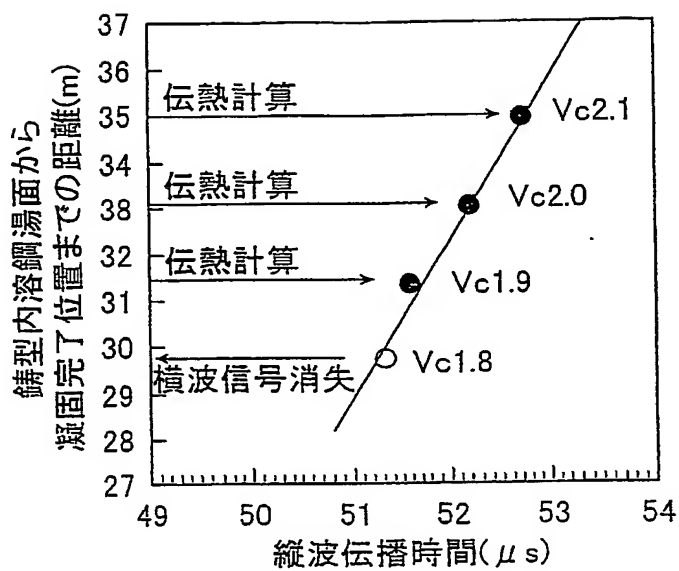
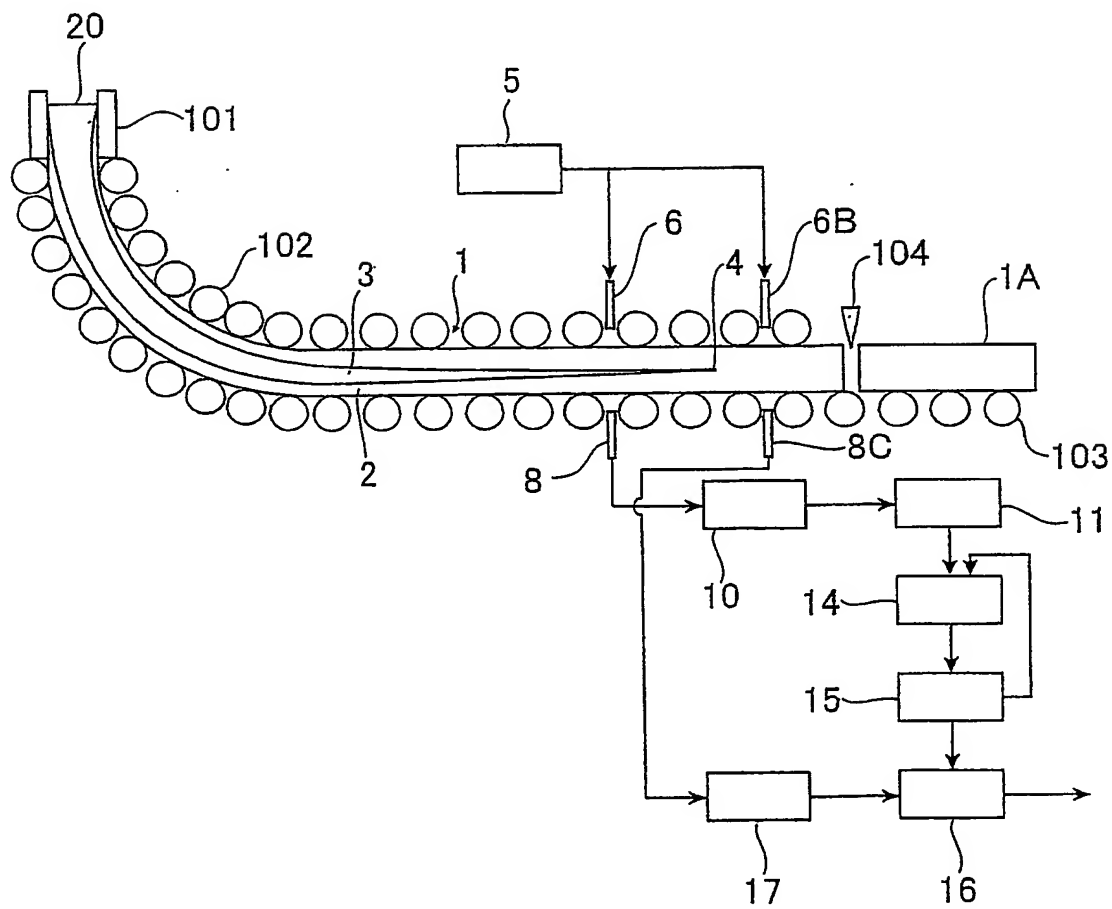


図 17



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017824

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> B22D11/16, G01N29/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> B22D11/16, G01N29/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-148850 A (Kawasaki Steel Corp.), 02 July, 1987 (02.07.87), Full text; all drawings (Family: none)	1-16
A	JP 63-313643 A (Kawasaki Steel Corp.), 21 December, 1988 (21.12.88), Full text; all drawings (Family: none)	1-16
A	JP 1-127161 A (Kawasaki Steel Corp.), 19 May, 1989 (19.05.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
24 February, 2005 (24.02.05)

Date of mailing of the international search report  
15 March, 2005 (15.03.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>1</sup> B22D11/16, G01N29/18

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>1</sup> B22D11/16, G01N29/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 62-148850 A(川崎製鉄株式会社), 1987. 07. 02, 全文、全図(ファミリーなし)	1-16
A	JP 63-313643 A(川崎製鉄株式会社), 1988. 12. 21, 全文、全図(ファミリーなし)	1-16
A	JP 1-127161 A(川崎製鉄株式会社), 1989. 05. 19, 全文、全図(ファミリーなし)	1-16

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24. 02. 2005

国際調査報告の発送日

15. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中澤 登

4 E

8 7 2 7

電話番号 03-3581-1101 内線 6377